# Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara

## Semester 4

Kelas XI

# PENULIS

# KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Di dalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. Buku Siswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus dilakukan peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus dilakukan peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014
Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

# DAFTAR ISI

# I. PENDAHULUAN

## A. Deskripsi

Kurikulum 2013 dirancang untuk memperkuat kompetensi siswa dari sisi pengetahuan, keterampilan dan sikap secara utuh. Proses pencapaiannya melalui pembelajaran sejumlah mata pelajaran yang dirangkai sebagai suatu kesatuan yang saling mendukung pencapaian kompetensi tersebut. Buku bahan ajar dengan judul Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara2 ini merupakan paket keahlian yang digunakan untuk mendukung pembelajaran pada mata pelajaran Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara, untuk SMK Paket Keahlian Teknik Pendingin dan Tata Udara yang diberikan pada kelas XI.

Buku ini menjabarkan usaha minimal yang harus dilakukan siswa untuk mencapai kompetensi yang diharapkan, yang dijabarkan dalam kompetensi inti dan kompetensi dasar. Sesuai dengan pendekatan yang dipergunakan dalam Kurikulum 2013, siswa diberanikan untuk mencari dari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Peran guru sangat penting untuk meningkatkan dan menyesuaikan daya serap siswa dengan ketersediaan kegiatan pada buku ini. Guru dapat memperkayanya dengan kreasi dalam bentuk kegiatan-kegiatan lain yang sesuai dan relevan yang bersumber dari lingkungan sosial dan alam.

Buku siswa ini disusun di bawah koordinasi Direktorat Pembinaan SMK, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, dan dipergunakan dalam tahap awal penerapan Kurikulum 2013. Buku ini merupakan “dokumen hidup” yang senantiasa diperbaiki, diperbaharui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

## B. Kompetensi Inti dan Kompetensi Dasar

| KOMPETENSI INTI | KOMPETENSI DASAR |
|---|---|
| 1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya | 1.1. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata udara.<br>1.2. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata udara. |
| 2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan proaktif, dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia | 2.1. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata udara.<br>2.2. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikirdalam melakukan tugas memasang dan memelihara peralatan refrigerasi dan tata udara.<br>2.3. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan pekerjaan di bidang bidang kontrol refrigerasi dan tata udara. |
| 3. Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, dan prosedural berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah. | 3.1. Menentukan prosedur keselamatan dan kesehatan kerja di bidang pekerjaan elektrikal<br>3.2. Menafsirkan gambar sistem kelistrikan unit refrigerasi domestik<br>3.3. Menentukan komponen dan sistem distribusi tenaga listrik tegangan rendah.<br>3.4. Menentukan prosedur pemasangan instalasi kotak kontak listrik biasa<br>3.5. Menentukan sistem dan rangkaian kontrol otomatik<br>3.6. Menentukan kondisi operasi sakelar otomatik berbasis suhu<br>3.7. Menentukan sistem dan rangkaian pengontrolan suhu<br>3.8. Menentukan sistem dan rangkaian pengontrolan operasi kompresor refrigerasi satu fasa<br>3.9. Menganalisa gangguan pada sistem kontrol refrigerasi dan tata udara |
| 4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait | 4.1. Menerapkan keselamatan dan kesehatan kerja di bidang pekerjaan elektrikal |

| KOMPETENSI INTI | KOMPETENSI DASAR |
| --- | --- |
| dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung | 4.2. Menyajikan gambar sistem kelistrikan refrigerasi domestik<br>4.3. Memeriksa komponen dan sistem distribusi tenaga listrik pada papan hubung bagi (PHB)<br>4.4. Memasang instalasi kotak kontak listrik biasa (KKB)<br>4.5. Memeriksa sistem dan rangkaian kontrol otomatik<br>4.6. Memeriksa kondisi operasi sakelar otomatik berbasis suhu<br>4.7. Memeriksa sistem dan rangkaian pengontrolan suhu<br>4.8. Memeriksa sistem dan rangkaian pengontrolan operasi kompresor<br>4.9. Melacak gangguan pada sistem kontrol refrigerasi dan tata udara sistem satu fasa |

## C. Silabus

**Satuan Pendidikan : SMK**
**Program Keahlian : Teknik Ketenagalistrikan**
**Paket Keahlian : Teknik Pendingin & Tata Udara**
**Mata Pelajaran : Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara**
**Kelas /Semester : XI**

**Kompetensi Inti**

KI 1 : Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya

KI 2 : Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.

KI 3 : Memahami, menerapkan dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dalam wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian dalam bidang kerja yang spesifik untuk memecahkan masalah.

KI 4 : Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif dan mampu melaksanakan tugas spesifik di bawah pengawasan langsung

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.3. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata udara.<br>1.4. Mengamalkan nilai-nilai ajaran agama sebagai tuntunan dalam melaksanakan pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata | | | | | |

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| udara. | | | | | |
| 2.4. Mengamalkan perilaku jujur, disiplin, teliti, kritis, rasa ingin tahu, inovatif dan tanggung jawab dalam pekerjaan di bidang kontrol refrigerasi dan tata udara.<br>2.5. Menghargai kerjasama, toleransi, damai, santun, demokratis, dalam menyelesaikan masalah perbedaan konsep berpikir dalam melakukan tugas memasang dan memelihara peralatan refrigerasi dan tata udara.<br>2.6. Menunjukkan sikap responsif, proaktif, konsisten, dan berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam melakukan pekerjaan di bidang bidang kontrol refrigerasi dan tata udara. | | | | | |
| 3.1. Menentukan prosedur keselamatan dan kesehatan di bidang pekerjaan elektrikal | • Sengatan arus listrik<br>• Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh<br>• Cidera akibat Sengatan Arus | **Mengamati :**<br>Mengamati fenomena sengatan arus listrik, tegangan langkah dan tegangan sentuh, cidera akibat sengatan arus listrik, tanda bahaya dan | **Kinerja:**<br>• Pengamatan sikap kerja<br>• Pengamatan | 4 x 4 JP | J. Dossat, Modern Refrigeration, Prentice Hall, 1990 |

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| 4.1. Menerapkan prosedur keselamatan dan kesehatan kerja di bidang pekerjaan elektrikal. | Listrik<br>• Tanda Bahaya dan Alat Pelindung Diri<br>• Sistem Pentanahan Listrik<br>- Elektroda pentanahan<br>- Penghantar pentanahan<br>• Pengaman Listrik<br>• Prosedur Lock Out dan Tag Out<br>• Petunjuk Keselamatan dan P3K | alat pelindung diri, sistem pentanahan, pengaman listrik, prosedur lock out dan tag out, serta petunjuk keselamatan dan P3K<br><br>**Menanya :**<br>Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang fenomena sengatan arus listrik, tegangan langkah dan tegangan sentuh, cidera akibat sengatan arus listrik, tanda bahaya dan alat pelindung diri, sistem pentanahan, pengaman listrik, prosedur lock out dan tag out, serta petunjuk keselamatan dan P3K<br><br>**Mengeksplorasi :**<br>Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang fenomena sengatan arus listrik, tegangan langkah dan tegangan sentuh, cidera akibat sengatan arus listrik, tanda bahaya dan alat pelindung diri, sistem pentanahan, pengaman listrik, prosedur lock out dan tag out, serta petunjuk keselamatan dan P3K<br><br>**Mengasosiasi :**<br>Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan fenomena sengatan arus listrik, tegangan langkah dan tegangan sentuh, cidera akibat sengatan arus listrik, tanda bahaya dan alat | kegiatan praktek terkait dengan prosedur keselamatan dan kesehatan kerja di bidang pekerjaan elektrikal.<br><br>**Tes:**<br>Tes lisan/ tertulis terkait dengan sengatan arus listrik dan upaya pencegahannya serta dan penanganan korban tersengat arus listrik yang lazim dilakukan di dunia kerja/industri<br><br>**Portofolio:**<br>Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis<br><br>**Tugas:**<br>Penerapan prosedur keselamatan dan kesehatan kerja | | Goliber, Paul F., 1986 Refrigeration servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd.<br><br>A Harris, 1986, Air Conditioning Practices, Mc. Graw Hill<br><br>Trane reciprocating Refrigeration Manual |

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| | | pelindung diri, sistem pentanahan, pengaman listrik, prosedur lock out dan tag out, serta petunjuk keselamatan dan P3K<br><br>**Mengkomunikasikan :**<br>Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang fenomena sengatan arus listrik, tegangan langkah dan tegangan sentuh, cidera akibat sengatan arus listrik, tanda bahaya dan alat pelindung diri, sistem pentanahan, pengaman listrik, prosedur lock out dan tag out, serta petunjuk keselamatan dan P3K | | | |
| 3.2. Menafsirkan gambar system kelistrikan unit refrigerasi domestik<br>4.2. Menyajikan gambar sistem kelistrikan refrigerasi domestik | • Simbol komponen listrik<br>• Motor listrik<br>• Rele dan kontaktor<br>• Starter Magnetik<br>• Sakelar Otomatik<br>• Piranti pengaman<br>• Diagram Skematik<br>• Diagram Ladder<br>Diagram Pengawatan | **Mengamati :**<br>Mengamati Simbol komponen listrik, Motor listrik, Rele dan kontaktor, Starter Magnetik, Sakelar Otomatik, Piranti pengaman, Diagram Skematik, Diagram Ladder, dan Diagram Pengawatan yang lazim dunia refrigerasi dan tata udara.<br><br>**Menanya :**<br>Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dan kreatif dengan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang Simbol komponen listrik, Motor listrik, Rele dan kontaktor, Starter Magnetik, Sakelar Otomatik, Piranti pengaman, Diagram Skematik, Diagram Ladder, dan Diagram Pengawatan yang lazim dunia refrigerasi dan tata udara.<br><br>**Mengeksplorasi :**<br>Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang Simbol | **Kinerja:**<br>• Pengamatan sikap kerja<br>• Pengamatan kegiatan praktek penanganan korban tersengat listrik yang lazim dilakukan di dunia kerja/industri, serta pencegahan tersengat arus listrik dan penggunaan buku manual dan electrical diagram.<br><br>**Tes:**<br>Tes lisan/ tertulis terkait dengan bahaya tersengat arus listrik dan upaya pencegahannya serta dan penanganan korban | 4 x 4 JP | J. Dossat, Modern Refrigeration, Prentice Hall, 1990<br><br>Goliber, Paul F., 1986 Refrigeration servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd.<br><br>A Harris, 1986, Air Conditioning Practices, Mc. Graw Hill<br><br>Trane reciprocating Refrigeration Manual |

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| | | komponen listrik, Motor listrik, Rele dan kontaktor, Starter Magnetik, Sakelar Otomatik, Piranti pengaman, Diagram Skematik, Diagram Ladder, dan Diagram Pengawatan yang lazim dunia refrigerasi dan tata udara.<br><br>**Mengasosiasi :**<br>Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan Simbol komponen listrik, Motor listrik, Rele dan kontaktor, Starter Magnetik, Sakelar Otomatik, Piranti pengaman, Diagram Skematik, Diagram Ladder, dan Diagram Pengawatan yang lazim dunia refrigerasi dan tata udara.<br><br>**Mengkomunikasikan :**<br>Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang Simbol komponen listrik, Motor listrik, Rele dan kontaktor, Starter Magnetik, Sakelar Otomatik, Piranti pengaman, Diagram Skematik, Diagram Ladder, dan Diagram Pengawatan yang lazim dunia refrigerasi dan tata udara. | tersengat arus listrik yang lazim dilakukan di dunia kerja/industri<br><br>**Portofolio:**<br>Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis<br><br>**Tugas:**<br>Penafsiran dan Penyajian gambar sistem keistrikan | | |
| 3.3. Menentukan komponen dan sistem distribusi tenaga listrik tegangan rendah pada sisi konsumen.<br>4.3 Memeriksa komponen pada papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen | • Sistem Distribusi tenaga Listrik<br>- sistem satu fasa<br>- sistem tiga fasa<br><br>• Papan Distribusi Tenaga Listrik<br>- Kotak PHB<br>- Komponen utama<br>- Komponen bantu | **Mengamati :**<br>Mengamati sistem distribusi tenaga llistrik sistem satu fasa dan tiga fasa tegangan rendah, papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen mencakupi fungsi, komponen, dan sirkit diagram, serta pemeriksan komponennya.<br><br>**Menanya :**<br>Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan berfikir kritis dengan mengajukan | **kinerja:**<br>• Penyiapan pekerjaan modifikasi PHB<br>• Pelaksanaan penggantian/penambahan circuit breaker pada PHB satu fasa<br>• Pelaksanaan penggantian/penambahan circuit breaker | 5 x 4 JP | |

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| | - Diagram Satu garis<br><br>• Sistem Pentanahan (Pembumian)<br>- Sistem TN<br>- Sistem TT<br><br>• Kerja Proyek 1<br>Membuat sketsa sistem distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen.<br>• Kerja proyek 2<br>Memeriksa komponen pada papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen | pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang sistem distribusi tenaga llistrik sistem satu fasa dan tiga fasa tegangan rendah, papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen mencakupi fungsi, komponen, dan sirkit diagram, serta pemeriksan komponennya.<br>.<br><br>**Mengeksplorasi :**<br>Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang sistem distribusi tenaga llistrik sistem satu fasa dan tiga fasa tegangan rendah, papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen mencakupi fungsi, komponen, dan sirkit diagram, serta pemeriksan komponennya.<br><br>**Mengasosiasi :**<br>Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan sistem distribusi tenaga llistrik sistem satu fasa dan tiga fasa tegangan rendah, papan distribusi tenaga listrik pada sisi konsumen mencakupi fungsi, komponen, dan sirkit diagram, serta pemeriksan komponennya.<br><br>**Mengkomunikasikan :**<br>Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang sistem distribusi tenaga llistrik sistem satu fasa dan tiga fasa tegangan rendah, papan distribusi | pada PHB satu fasa<br><br>**Tes:**<br>Tes tertulis terkait dengan kerja pemipaan refrigerasi, mencakupi aturan keselamatan kerja, penggunaan peralatan kerja, penggunaan alat pelindung diri, gambar kerja, dan prosedur kerja<br><br>**Portofolio:**<br>Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis.<br><br>**Tugas:**<br>Membuat sketsa sistem distribusi tenaga listrik<br>Merakit panel hubung bagi<br>Memeriksa panel hubung bagi | | |

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| | | tenaga listrik pada sisi konsumen mencakupi fungsi, komponen, dan sirkit diagram, serta pemeriksan komponennya.. | | | |
| 3.4. Menentukan prosedur pemasangan instalasi kotak kontak biasa (KKB)<br><br>4.4 Memasang instalasi kotak kontak khusus (KKK) sistem satu fasa dan tiga fasa | • Kabel penghantar<br>- standarisasi warna<br>- jenis kabel<br>- ukuran kabel<br>- daya hantar arus<br>- penentuan ukuran kabel<br>• Pipa<br>- jenis pipa<br>- ukuran pipa<br>- Penggunaan<br>• Cabel Duct<br>- jenis<br>- Ukuran<br>- penggunaan<br>• Kotak Kontak Biasa (KKB) | **Mengamati :**<br>Mengamati instalasi kotak kontak biasa (KKB) mencakupi kabel penghantar, pipa, cabel duct, sirkit diagram dan pemasangan instalasi KKB.<br><br>**Menanya :**<br>Mengamati instalasi instalasi kotak kontak biasa (KKB) mencakupi kabel penghantar, pipa, cabel duct, sirkit diagram dan pemasangan instalasi KKB.<br><br>**Mengeksplorasi :**<br>Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang instalasi kotak kontak biasa (KKB) mencakupi kabel penghantar, pipa, cabel duct, sirkit diagram dan pemasangan instalasi KKB.<br><br>**Mengasosiasi :**<br>Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan instalasi kotak kontak biasa (KKB) mencakupi kabel penghantar, pipa, cabel duct, sirkit diagram dan pemasangan instalasi KKB.<br><br>**Mengkomunikasikan :**<br>Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang fungsi, komponen, dan instalasi KKB | **Kinerja:**<br>• Penyiapan pekerjaan pemasangan instalasi KKK<br>• Pelaksanaan pekerjaan pemasangan instalasi KKK<br><br>**Tes:**<br>Tes lisan/ tertulis terkait dengan persiapan dan pelaksanaan pemasangan instalasi KKK sistem satu fasa dan tiga fasa<br><br>**Portofolio:**<br>Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis<br><br>**Tugas**:<br>Pemasangan KKB satu fasa dan tiga fasa | 6 x 4 JP | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3.5. Menentukan sistem dan rangkaian kontrol otomatik<br>4.5. Memeriksa sistem dan rangkaian kontrol otomatik | • Dasar Sistem kontrol<br>• Control Loop<br>• Mode Kontrol<br>• Komponen Sisten Kontrol | **Mengamati :**<br>Mengamati aplikasi sistem kontrol otomatik<br><br>**Menanya :**<br>Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang sistem kontrol otomatik,.<br><br>**Mengeksplorasi :**<br>Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang sistem kontrol otomatik.<br><br>**Mengasosiasi :**<br>Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan sistem kontrol otomatik mulai dari pengukuran parameter aplikasi sistem kontrol semi otomatik dan melakukan percobaan aplikasi sistem semi otomatik pada unit refrigerasi dan tata udara.<br><br>**Mengkomunikasikan :**<br>Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang prinsip, operasi dan instalasi sistem kontrol semi otomatik. | **Kinerja:**<br>• Pengematan sikap kerja<br>• Pengamatan kegiatan praktek aplikasi sistem kontrol otomatik<br><br>**Tes:**<br>Tes tertulis terkait dengan aplikasi sistem kontrol otomatik<br><br>**Portofolio:**<br>Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis.<br><br>**Tugas:**<br>Pemilihan sistem kontrol otomatik | 4 x 4 jp | |
| 3.6. Menentukan kondisi operasi sakelar otomatik berbasis suhu<br>4.6 Memeriksa sakelar otomatik berbasis suhu | • Prinsip Pengontrolan Suhu<br>• Pemeriksaan Thermostat<br>• Pengaturan Range dan Differential | **Mengamati :**<br>Mengamati sistem pengontrolan suhu baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansi.<br><br>**Menanya :**<br>Mengkondisikan situasi belajar untuk | **Kinerja:**<br>• Pengematan sikap kerja<br>Pengamatan kegiatan praktek set-up sistem kontrol semi otomatik baik secara | 3 x 4 JP | J. Dossat, Modern Refrigeration, Prentice Hall, 1990<br><br>Goliber, Paul F., 1986 Refrigeration |

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| | | membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang pemeriksaan sistem pengontrolan suhu baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansi<br><br>**Mengeksplorasi :**<br>Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang sistem pengontrolan suhu baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansi<br><br>**Mengasosiasi :**<br>Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan sistem pengontrolan suhu baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansi.<br><br>**Mengkomunikasikan :**<br>Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang set-up sistem kontrol semi otomatik baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansinya | elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansinya<br>**Tes:**<br>Tes tertulis terkait dengan set-up sistem kontrol semi otomatik baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi komponen kontrol, fungsi dan performansinya<br>**Portofolio:**<br>Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis.<br><br>Tugas:<br>Set-up set-up sistem kontrol semi otomatik baik secara elektromekanik dan elektronik, mencakupi suhu dan tekanan | | servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd.<br><br>A Harris, 1986, Air Conditioning Practices, Mc. Graw Hill<br><br>Trane reciprocating Refrigeration Manual |
| 3.7. Menentukan sistem dan rangkaian pengontrolan suhu<br>4.7 Memeriksa Sistem dan Rangkaian Pengontrolan | • Perangkat kontrol<br>• Thermostat | **Mengamati :**<br>Mengamati perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat,<br><br>**Menanya :** | **Kinerja:**<br>• Pengamatan sikap kerja<br>• Pengamatan kegiatan praktek pemeriksaan | 3 x 4 JP | |

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| suhu | | Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat,<br><br>**Mengeksplorasi :**<br>Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat,<br><br>**Mengasosiasi :**<br>Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat,<br><br>**Mengkomunikasikan :**<br>Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat | thermostat<br><br>**Tes:**<br>Tes tertulis terkait dengan perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat<br><br>**Portofolio:**<br>Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis.<br><br>Tugas:<br>Pemeriksaan perangkat kontrol pada sistem refrigerasidan thermostat | | |
| 3.8. Menentukan sistem dan rangkaian pengontrolan operasi kompresor satu fasa<br>4.8 Memeriksa rangkaian pengontrolan operasi kompresor satu fasa | • Pengontrolan Motor Kompresor berbasis suhu<br>• Pengontrolan motor kompresor berbasis tekanan<br>• Piranti Pengaman kompresor | **Mengamati :**<br>Mengamati sistem pengontrolan motor kompresor berbasis suhu, berbasis tekanan, dan piranti pengaman kompresor<br><br>**Menanya :**<br>Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang sistem sistem pengontrolan motor kompresor berbasis suhu, berbasis tekanan, dan piranti pengaman kompresor, | **Kinerja:**<br>• Pengamatan sikap kerja<br>• Pengamatan kegiatan praktek pemeriksan rangkaian pengontrolan motor kompresor<br><br>**Tes:**<br>Tes tertulis terkait dengan sistem pengontrolan suhu dan | 3 x 4 JP | |

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Mengeksplorasi :**<br>Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang sistem sistem pengontrolan motor kompresor berbasis suhu, berbasis tekanan, dan piranti pengaman kompresor<br><br>**Mengasosiasi :**<br>Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan sistem sistem pengontrolan motor kompresor berbasis suhu, berbasis tekanan, dan piranti pengaman kompresor,<br><br>**Mengkomunikasikan :**<br>Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang sistem pengontrolan motor kompresor berbasis suhu, berbasis tekanan, dan piranti pengaman kompresor, | tekanan kerja, pengontrolan operasi motor kompresor satu fasa,<br><br>**Portofolio:**<br>Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis.<br><br>Tugas:<br>Perakitan sistem kontrol suhu<br>Perakitan sistem kontrol operasi ekonomis kompresor | | |
| 3.9. Menganalisa gangguan pada sistem kontrol refrigerasi dan tata udara sistem satu fasa<br>4.9 Melacak gangguan pada sistem kontrol refrigerasi dan tata udara sistem satu fasa | Gangguan pada Rangkaian Kompresor<br>• Gangguan pada Pressure Control<br>• Pelacakan Gangguan | **Mengamati :**<br>Mengamati kondisi faktual gangguan pada sistem kontrol refrigerasi dan tata udara dan membandingkannya jenis gangguan yang ada pada folwchart untuk keperluan pelacakan gangguan pada sistem kontrol.<br><br>**Menanya :**<br>Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang jenis gangguan dan pelacakan gangguan pada sistem control secara faktual dan secara konseptual. | **Kinerja:**<br>• Pengamatan sikap kerja<br>• Pengamatan kegiatan praktek .pelacakan gangguan pada sistem kontrol secara faktual dan konseptual<br><br>**Tes:**<br>Tes tertulis terkait dengan jenis gangguan dan pelacakan gangguan | 4 x 4 jp | |

| Kompetensi Dasar | Materi Pokok | Kegiatan Pembelajaran | Penilaian | Alokasi Waktu | Sumber Belajar |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Mengeksplorasi :**<br>Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkrit, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang jenis gangguan dan pelacakan gangguan pada sistem control secara faktual dan konseptual.<br><br>**Mengasosiasi :**<br>Mengkatagorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnyanya disimpulkan dengan urutan dari yang sederhana sampai pada yang lebih kompleks terkait dengan jenis gangguan dan pelacakan gangguan pada sistem control secara faktual dan konseptual.<br><br>**Mengkomunikasikan :**<br>Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang pelacakan gangguan pada sistem kontrol secara faktual dan konseptual. | pada sistem kontrol secara faktual dan konseptual.<br><br>**Portofolio:**<br>Setelah menyelesaikan tugas pekerjaan pekerjaan harus menyerahkan laporan pekerjaan secara tertulis.<br><br>Tugas:<br>Pelacakan gangguan sistem kelistrikan. | | |

Catatan: jumlah minggu efektif semester ganjil/genap = 20/18 minggu.

## D. Rencana Aktivitas Belajar

Proses pembelajaran pada Kurikulum 2013 untuk semua jenjang dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan ilmiah (saintifik). Langkah-langkah pendekatan ilmiah (*scientific appoach*) dalam proses pembelajaran meliputi menggali informasi melaui pengamatan, bertanya, percobaan, kemudian mengolah data atau informasi, menyajikan data atau informasi, dilanjutkan dengan menganalisis, menalar, kemudian menyimpulkan, dan mencipta. Pada buku ini, seluruh materi yang ada pada setiap kompetensi dasar diupayakan sedapat mungkin diaplikasikan secara prosedural sesuai dengan pendekatan ilmiah.

Melalui buku bahan ajar ini, kalian akan mempelajari apa?, bagaimana?, dan mengapa?, terkait dengan masalah sistem refrigerasi, instalasi dan aplikasinya. Langkah awal untuk mempelajari sistem dan instalasi refrigerasi adalah dengan melakukan pengamatan (observasi). Keterampilan melakukan pengamatan dan mencoba menemukan hubungan-hubungan yang diamati secara sistematis merupakan kegiatan pembelajaran yang sangat aktif, inovatif, kreatif dan menyenangkan. Dengan hasil pengamatan ini, berbagai pertanyaan lanjutan akan muncul. Nah, dengan melakukan penyelidikan lanjutan, kalian akan memperoleh pemahaman yang makin lengkap tentang masalah yang kita amati

Buku bahan ajar “Kontrol Refrijerasi dan Tata Udara 2, digunakan untuk memenuhi kebutuhan minimal pembelajaran pada kelas XI, semester ganjil, mencakupi kompetensi dasar 3.5 dan 4.5 sampai dengan 3.10. dan 4.10, yang terbagi menjadi lima kegiatan belajar, yaitu (1) Memeriksa sistem dan rangkaian kontrol otomatik, (2) Memeriksa kondisi operasi sakelar otomatik berbasis suhu, (3) Memeriksa sistem dan rangkaian pengontrolan suhu (4) Memeriksa sistem dan rangkaian pengontrolan operasi kompresor, (5) Menganalisa gangguan kelistrikan refrijerasi dan tata udara.

# II. PEMBELAJARAN

## A. Kegiatan Belajar 1

## Memeriksa Sistem dan Rangkaian Kontrol Otomatik.

Dalam menjalani kehidupan di era modern ini kita memerlukan sistem kontrol untuk memberi kepastian bahwa aktivitas kehidupan kita dapat berlangsung dengan lebih mudah, lebih nyaman, efisien dan efektif. dalam kehidupan modern. Dengan menerapkan sistem kontrol, memungkinkan peralatan *Refrigeartion & Air Conditioning* (RAC) yang kita gunakan dapat dioperasikan dengan efektif dan memiliki kemampuan untuk merubah aksinya sesuai perubahan kondisi sekitarnya. Peralatan kontrol dapat memonitor piranti input dan mengatur piranti output dari suatu peralatan yang dikontrolnya.

Misalkan peralatan listrik yang ada di rumah tangga seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 1.1. Pasti kalian mengetahui, bahwa peralatan tersebut beroperasi secara otomatik.

**Gambar 1.1 Peralatan Rumah Tangga**

**Lembar Kerja 1:**

Terkait dengan topik yang akan dibahas pada sesi ini yaitu sistem dan rangkaian kontrol otomatik, untuk itu kalian mendapat tugas pengamatan dan kemudian mendiskusikan pengetahuan faktual yang dapat kalian jumpai dalam kehidupan sehari-hari tentang sistem dan rangkaian kontrol otomatik dari peralatan rumah tangga yang ada di rumah kalian. Gambar 1.1. memperlihatkan beberapa jenis peralatan rumah tangga yang tentunya ada di rumah kalian. Diskusikan dengan teman sekelompokmu untuk menjawab pertanyaan mendasar yaitu Apa, bagaimana, dan mengapa terkait dengan sistem dan rangkaian kontrol otomatik yang diterapkan pada peralatan tersebut. Untuk itu kalian harus mencari informasi-informasi yang terkait dengan masalah tersebut melalui membaca materi pelajaran dalam buku bahan ajar ini, dan melalui sumber-sumber informasi lain, yang dapat kalian peroleh dari buku sekolah elektronik, dari majalah ilmiah populer, atau dari situs-situs pendidikan lewat internet! Presentasikan hasil penemuanmu di kelas agar dapat dibahas dengan kelompok lain. Kemudian buatlah laporan pelaksanaan kegiatan secara indidu.

**Sistem Kontrol**

Kendali atau kontrol (*control*) merupakan piranti yang mengoperasikan atau mengatur sistem mekanikal dan elektrikal. Piranti kontrol tersebut digunakan pada sistem pemanasan ruang (heating system), sistem pendinginan (cooling system), sistem penembahan kelembaban udara (humidifying system), dan sistem pengurangan kelembaban udara (dehumidifying system). Biasanya, setiap piranti kontrol dodosaon untuk merespon kondisi tertentu. Misalnya untuk mengatur suhu, tekanan, aliran fluida, level likuid, dan waktu operasi suatu unit refrijerasi atau tata udara.

Kita memanfaatkan piranti kontrol setiap hari. Sebagai contoh, ketika akan mandi dengan shower, seringkali kita merasakan suhu air dan kemudian secara manual memodulasi keran air panas dan air dingin agar mendapatkan suhu air sesuai yang diinginkan. Ketika kita berkendaraan menuju ke sekolah atau ke bekerja, sering kita melihat kecepatan kendaraan melalui speedometer dan secara manual mengontrol kecepatan kendaraan kita pada titik kecepatan yang diinginkan. Ketika

kita berada di dalam ruang kerja, seringkali kita mengatur nyala lampu untuk memperoleh penerangan yang memadai. Dan masih banyak contoh lain yang sering kita lakukan tanpa menyadari hakekatnya.

Contoh di atas merupakan penerapan dari sistem kontrol tertutup secara manual (*closed loop manual control*). Istilah manual mengandung pengertian bahwa aksi kontrol dilakukan oleh manusia bukan oleh suatu piranti; kita bertindak sebagai piranti kontrol atau piranti pengendali (**controller**). Dalam sistem kontrol manual, kita yang membuat keputusan tentang aksi kontrol yang akan dilakukan.

Istilah kontrol tertutup (*closed-loop*) mengandung makna bahwa kita memiliki umpan balik (*feedback)* dari aksi yang dilakukan. Dalam contoh ini, umpan balik didapatkan dari indera perasa kita, tangan dan mata: begitu kita membuka keran shower air panas, kita dapat merasakan suhu airnya meningkat; ketika kita memutar gas kendaraan yang kita tumpangi, kita dapat melihat kenaikan laju kecepatan melalui *speedometer*; ketika kita menekan sakelar lampu, kita dapat melihat naiknya tingkat penerangan ang ada di dalam ruang.

Kontrol otomatik adalah kebalikan kontrol manual. Pada systemkontrol otomatik, yang melakukan aksi kontrol bukan manusia melainkan sebuah piranti kontrol yang meniru aksi yang kita lakukan pada sistem kontrol manual. Dalam hal ini, ketika kita menekan tombol pemilih kecepatan (*set-button*) yang ada pada suatu panel kontrol pengatur kecepatan (*cruise control panel*), pada hakekatnya kita memberitahu ke piranti kontrol atau piranti pengendali (*controller*) besaran kecepatan yang kita inginkan.

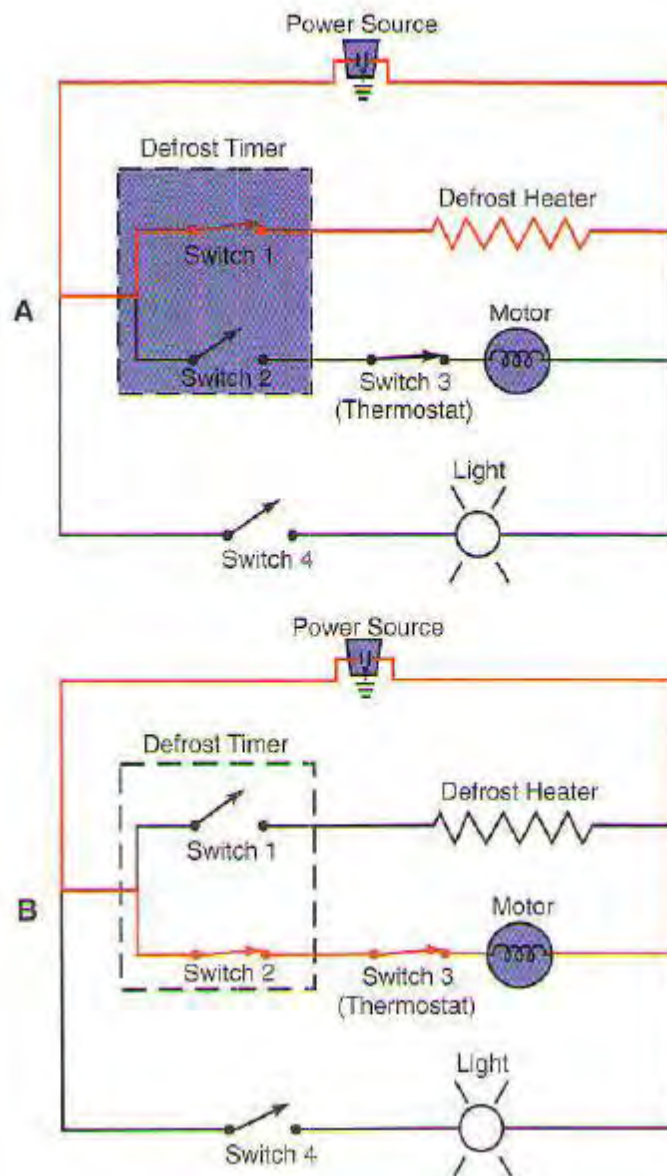
Besaran kecepatan yang kita inginkan lazim disebut sebagai *set point*. Kemudian piranti pengendali akan melakukan pengukuran kecepatan aktual yang sedang terjadi saat itu. Bila kecepatan actual belum sama dengan kecepatan yang kita inginkan, maka piranti pengendali akan mengatur posisi piranti akselerasinya untuk menjaga laju kecepatan kendaraan sesuai dengan set point. Yang perlu dicacat di sini, adalah sistem kontrol otomatik lebih presisi daripada sistem kontrol manual. Hal ini disebabkan karena perhatian kita tidak hanya tertuju pada kecapatan kendaraan saja, melainkan kita juga harus berkonsentrasi pada stir kendaraan kita, melihat keramaian lalu lintas, dan mengarahkanstir agar tidak bertabrakan dengan pengendara lain.

Inilah salah satu alasan mengapa kita menerapkan sistemkontrol otomatik. Kita tidak punya waktu atau keinginan, atau mungkin kemampuan memonitor proses agar berada pada kondisi yang diinginkan secara terus-menerus. Dalam banyak hal, mengontrol proses pada sistem *Refrigeration & Air Conditioning* (*RAC*) mempunyai analogi dengan contoh kasus menyetir kendaraan.

Pada sistem RAC, biasanya menggunakan suhu udara kering (*dry bulb temperature*) yakni suhu yang terukur oleh thermometer sebagai indikator kondisi thermal. Suhu bukan hanya satu-satunya faktor yang berpengaruh terhadap persepsi kenyamanan thermal. Suhu merupakan faktor utama dalam menciptakan kenyamanan dan mudah diukur serta dikontrol. Pada sistem refrigerasi & tata udara, sistem kontrol didisain untuk mampu mengatasi beban puncak yang terjadi pada keadaan tertentu.

**Lembar Tugas 2**: Dalam banyak kasus, maksud tujuan penggunaan sistem refrijerasidan tata udara adalah memberikan kenyanaman thermal pada penghuni bangunan rumah tangga atau hotel, untuk meningkatkan produktivitas kerja pada bangunan perkantoran, untuk menarik pelanggan lebih banyak pada bangunan supermarket dan ruang retail serta untuk pengawetan produk minuman dan makanan. Proses yang dilakukan adalah mengatur suhu dan tingkat kelembaban udara ruang, mengatur kecepatan pergerakan udara dan mengatur kualitas udara ruang yang bebas polutan dan cukup oksigen. Dengan tetap mempertimbangkan segi ekonomi pemakaian energi, dan keamanan peralatan.Untuk menggali ingatan kalian kembali tentang kontrol refrigerasi dan tata udara domestik, berikut ini diberikan permasalahan terkait dengan pengontrolan unit refrijerasi dan tata udara domestik. Kalian harus dapat memperjelas permasalahan yang dihadapi oleh sistem kontrol refrijerasi dan tata udara domestik. Kerjakan tugas ini secara berkelompok, dan buat laporan secara tertulis. Paparan yang harus kalian sampaikan mencakupi apa?, Bagaimana?, dan Mengapa? Terkait dengan sistem kontrol unit refrijerasi dan tata udara domestik.

## 1. Dasar Sistem Kontrol

Sistem refrijerasi dan tata udara pada hakekatnya mengontrol kondisi udara di dalam suatu area spesifik. Peralatan tersebut memelihara suatu kondisi yang diharapkan yang dikenal dengan istilah "*operating control*". Operasi keamanan (safety) dan pembatasan (limit control) membuat peralatan beroperasi pada level yang tepat sesuai keinginan. Peralatan tersebut juga dapat mencegah kerusakan terhadap sistem dan mencegah terjadinya cidera terhadap manusia.

Gambar 1.1 Diagram Ladder pada Unit Refrijerator Domestik. A:defrost heater diaktifkan oleh switch 1, dan motor kompresor dimatikan oleh switch 2. B: motor kompresor aktif (on) jika switch 2 dan 3 tertutup.

Sistem kontrol refrijerasi dan tata udara dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

*(1) conditioned area,*

*(2) controlling instrument, dan*

*(3) operating device*.

*Conditioned area* merupakan area yang dikondisikan yakni area di mana suhu, tekanan, dan kelembaban udara dikontrol secara ketat pada kondisi tertentu.

*Controlling instrument* merupakan instrumen yang responsif terhadap perubahan. Hal ini dilakukan oleh piranti pendeteksi (*sensing device), thermostat, motor control, pressurestat, humidistat, dan distibution control.*

*Operating device*, merupakan sebuah mekanisasi yang berdampak langsung terhadap kondisi aktual lewat pengaturan oleh instrumen kontrol. Sebagai contoh adalah katub, damper udara, fan, dan kompresor.

Suatu sistem kontrol yang senantiasa (secara konstan) mengoreksi kondisi setiap saat lazim disebut sebagai sistem kontrol jerat tertutup (*closed-loop control system*). Dalam pengoperasian suatu peralatan refrijerator, thermostat merupakan instrumet pengontrol (*controlling instrument*). Kompresor hermetik merupakan *operating device.* Ruang di dalam kabinet refrijerator merupakan area yang dikondisi (*conditioned area*). Jika ruang di dalam kabinet refrijerator menjadi terlalu hangat, thermostat akan mengaktifkan (*turn on*) kompresor. Kemudian kompresor akan mensirkulasikan refrijeran ke sistem pemipaan refrijerasi sehingga dapat mendinginkan ruang di dalam kabinet. Setelah kondisi ruang kabinet mencapai suhu yang diinginkan, maka instrumen pengontrol (*controlling instrument*) akan menon-aktifkan (*turn off*) kompresor. Siklus tersebut akang terulang kembali jika ruang kabinet berubah kembali menjadi terlalu hangat (*warm-up*) dan menjadi terlalu dingin (*cool down*).

Piranti kontrol pertama yang digunakan pada system refrigerasi & tata udara biasanya berupa elektromekanik, yang berfungsi untuk menggerakkan kontak sakelar otomatik untuk mengontrol operasi fan, pompa, kompresor, dan damper. Biasanya

piranti kontrol tersebut bekerja secara *self powered*, artinya mereka beroperasi menggunakan energi yang ada pada proses bukan menggunakan energi dari luar.

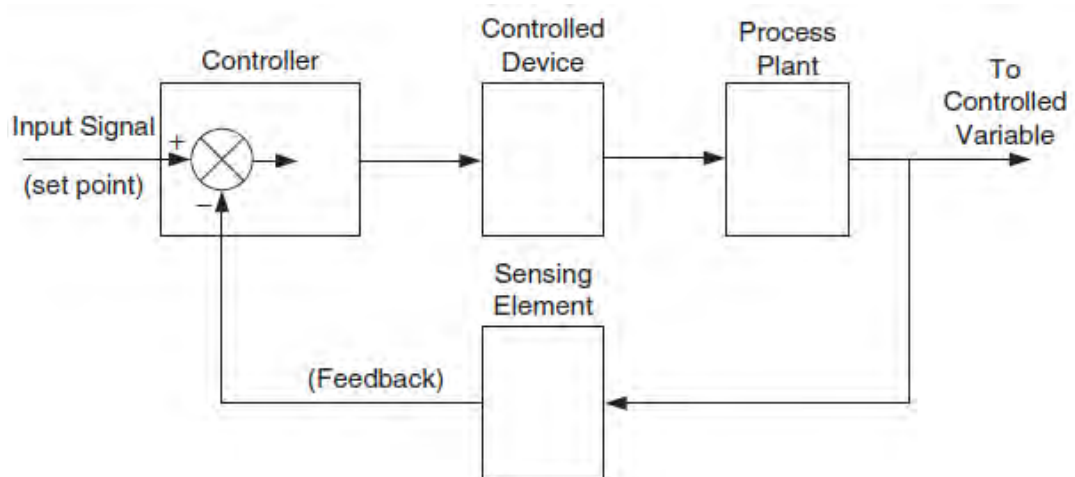
Gambar 1.1 Elektromekanik Thermostat

Kebutuhan akan kontrol modulasi yang murah yakni untuk mengatur output secara kontinyu bukan hanya sekedar siklus operasi on dan off, menghasilkan pengembangan control berbasis pnumatik, yang mengunakan udara kempa sebagai sumber energi untuk menggerakan piranti kontrolnya.

Kontrol pnumatik berkaitan dengan analog modulasi. Dengan berkembangnya penemuan di bidang tabung elektron, didisain sistem control baru berbasis elektronik. Dengan ditemukannya bahan semikonduktor, saat ini telah digunakan sistem kontrol berbasis semikonduktor dan sistem kontrol terprogram.

Berbagai sistem kontrol yang digunakan umtuk mengontrol suhu tersebut memiliki prinsip dasar yang sama. Walaupun teknologi untuk mengimplementasikan prinsip dasar  tersebut dapat berubah setiap saat, tetapi konsep dasar  yang digunakan tetap sama.

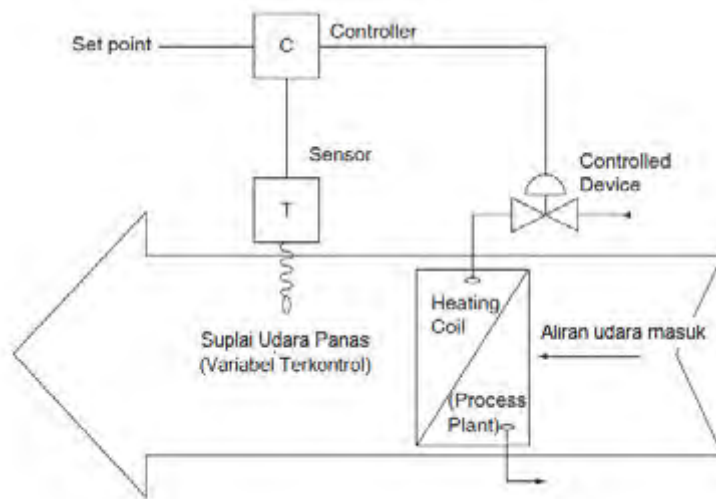
## 2. Control Loop

Proses mengendarai mobil seperti yang telah dibahas sebelumnya merupakan contoh sebuah *control loop*. Pengendara mobil (sopir) menggunakan *speedometer* untuk mengukur kecepatan mobil. Bila pengendara menginginkan menurunkan atau menaikkan kecepatan mobil, maka tinggal menekan tombol akselerasinya, begitu kecepatan yang diinginkan tercapai maka tekanan tombol akselerasi dilepaskan. Pada contoh tersebut pengendara mobil berperan sebagai piranti pengendali (*controller*).Sopir membuat keputusan apakah menekan atau melepas tombol akselerasi. Laju kecepatan mobil sebagai variable terkontrol (*controlled variable*) dan *speedometer* sebagai *sensor* yang mengukur nilai kecepatan aktual atau *control point* dari variable terkontrol. Tombol akselerasi merupakan piranti control (*controlled device*) dan mesin mobil sebagai sistem atau proses (*proses plant*).

**Gambar 1.2 Diagram Control Loop**

Gambar 1.2 memperlihatkan proses pertukaran informasi seperti yang berlangsung pada proses mengendarai mobil yang ditampilkan secara skematik. Diagram skematik tersebut disebut *control loop* karena informasi mengalir secara tertutup mulai dari sensor (*speedometer)* mengukur *controlled variable* (kecepatan) hingga ke *controller* (pengendara) di mana nilai aktual (*control point*) dari variable terkontrol (*controlled variable*) dibandingkan dengan nilai kecepatan yang

diinginkan (set point). Kemudian piranti control (*controller*) membuat keputusan kontrol dan meneruskannya ke piranti terkontrol (*controlled device*) yakni akselerator dan ke proses (*process plant*) yaitu mesin mobil. Hal ini akan berdampak pada nilai actual atau control point dari variable terkontrol. Pertukaran informasi tersebut berlangsung secara terus-menerus.

**Table 1-1 Perbandingan Aksi antara mengontrol mobil dan mengontrol Suhu**

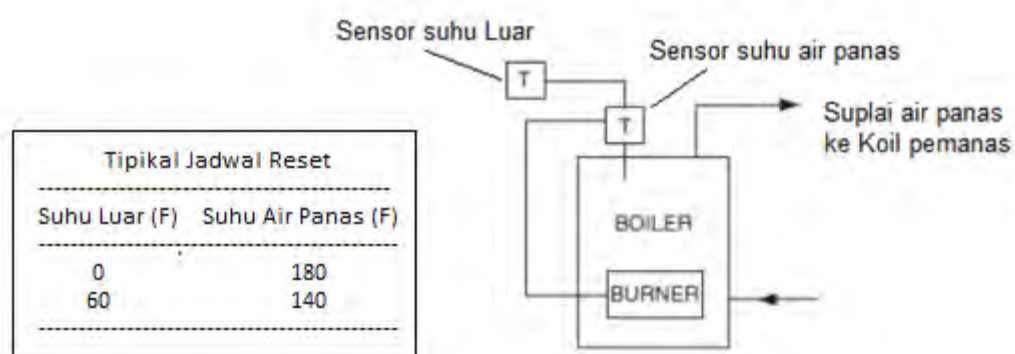
| **Istilah** | **Contoh Pengendara Mobil** | **Contoh Sistem Heating** | **Definisi** |
|---|---|---|---|
| Piranti Kontrol (*Controller*) | Sopir | Piranti yang memberi sinyal ke katub | Piranti yang memberi sinyal ke piranti terkontrol merespon sinyal *feedback* dari sensor |
| Sensor | Speedometer | Sensor Suhu | Piranti yang mengukur nilai actual dari variable terkontrol |
| Piranti terkontrol (*Controlled device*) | Akselerator | Control valve | Piranti yang mengubah operasi proses merespon sinyal kontrol |
| Variable Terkontrol (*Controlled variable*) | Kecepatan mobil | Suhu Udara | Sinyal yang dideteksi oleh sensor |
| Process plant | Mesin Mobil | Pipa pemanas (heating coil) | Piranti yang menghasilkan perubahan pada variable terkontrol |
| Sinyal input (*set point*) | Kecepatan yang diinginkan | Suhu udara *set point* | Referensi input atau Input yang diinginkan yang akan dibandingkan dengan variable terkontrol |

**Gambar 1.3 Sistem Pemanasan Ruang Sederhana**

Gambar 1.3 mengilustrasikan komponen *Heating control loop.* Terlihat pada gambar tersebut, suatu sistem pemanasan ruang sederhana, menggunakan pipa pemanasan yang menyalurkan uap panas, atau air panas sebagai sumber panas. Udara dingin dialirkan secara paksa dengan menggunakan fan melalui pipa pemanas untuk menaikkan suhu ruang sesuai keinginan.

Tujuan kontrol pada kasus di atas adalah menjaga suhu suplai udara sesuai yang diinginkan. Dalam hal ini sensor mengukur suhu udara yang akan disuplai ke ruangan atau variable terkontrol (*controlled variable*) dan mengirimkan informasi ini ke piranti control (*controller*). Di dalam *controller*, suhu yang terukur oleh sensor (*control point*) dibandingkan dengan suhu udara yang diinginkan (*set point*). Perbedaan antara set point dan *control point* disebut *error*. Berdasarkan nilai error ini, peralatan kontrol (*controller)* mengkalkulasi sinyal output dan mengirimkan sinyal tersebut ke piranti *control valve* (*piranti terkontrol*). Sebagai hasil dari sinyal baru ini, posisi *control valve* akan berubah sehingga jumlah fluida pemanas yang dialirkan ke pipa pemanas juga berubah (*process plant*). Akhirnya suhu udara suplai juga berubah. Berikutnya, sensor akan merasakan perubahan suhu tersebut dan mengirimkan sinyalnya ke *controller*, dan *controller* akan merespon sinyal tersebut untuk menentukan aksi berikutnya..

Kedua contoh tersebut di atas lazim disebut sebagai system kontrol jerat tertutup (*closed-loop control system*) atau system control umpan balik (*feedback control system*) karena variable terkontrol selalu dideteksi setiap saat oleh sensor dan meneruskan kembali informasi tersebut ke peralatan control (*controller*). Piranti Terkontrol (*Controlled device*) dan process plant meberikan dampak terhadap variable terkontrol, yang akan dideteksi dan hasilnya dikirim kembali ke controller untuk dibandingkan dengan set point dan memberikan respon dalam bentuk perubahan sinyal yang dikeluarkan oleh controller. Sistem refrigerasi dan tata udara lazim menggunakan system control jerat tertutup untuk mengontrol process plant-nya

Sistem kontrol jerat terbuka (*open loop control system*) tidak memiliki hubungan langsung antara nilai variable terkontrol dan pranti control: jadi tidak memiliki umpan balik. Contoh kontrol jerat terbuka adalah jika sensor mengukur suhu luar dan piranti kontrolnya didisain untuk mengaktifkan control valve sebagai fungsi suhu luar. Variabel lain yang ada di dalam system misalnya suhu suplai udara dan mungkin suhu ruang yang dikondisikan tidak ditransmisikan ke controller, sehingga controller-nya tidak dapat mengetahui secara langsung dampak modulasi katub.

Dengan kata lain, pada kontrol jerat terbuka, perubahan piranti terkontrol (*controlled device*) dalam hal ini *control valve* tidak memiliki dampak langsung terhadap variabel yang dideteksi oleh *controller* (dalam kasus ini adalah suhu luar). Dengan system control jerat terbuka, dapat dikatakan tidak ada koneksi langsung antara hasil akhir dan variable yang dideteksi oleh controller.

**Gambar 1.4 Sistem Pemanasan Ruang Sederhana dengan Boiler**

Kontrol jerat terbuka, dalam bentuk time-clock atau sensor hunian, sering dilakukan, bukan merupakan sistem kontrol kontinyu melainkan kontrol on/off. Salah satu bentuk control jerat terbuka yang banyak digunakan adalah control reset. Pada control reset ini, control jerat terbuka digunakan untuk memberikan beberapa variasi set point untuk control jerat tertutup. Sebagai contoh, jerat terbuka dapat disusun untuk mengatur suhu air panas berdasarkan suhu luar. Jika suhu luar mendadak turun, maka control output naik berdasarkan skema yang telah ditentukan, seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.4. Pada kasus ini, jika suhu luar jatuh pada suhu 0 $^{O}$F, maka suhu air panas adalah 180$^{o}$F; dan jika suhu luar naik menjadi 60 $^{O}$F, maka suhu air panas turun menjadi 140 $^{O}$F.

### 3. Mode Kontrol

Maksud tujuan sebuah *closed-loop controller* adalah menjaga variable terkontrol (*controlled variable*) selalu berada pada nilai set point yang diinginan. Semua piranti control (*controller)* didisain untuk mengambil langkah (aksi kontrol) dalam bentuk sinyal output yang dkirimkan ke piranti kontrol. Sinyal output tersebut merupakan fungsi dari sinyal error, yakni selisih antara nilai *set point* dan *control point*. Jenis aksi yang dilakukan oleh piranti kontrolnya disebut mode kontrol atau logika kontrol.

Pada dasarnya jenis aksi instrumen kontrol dapat mencakup 5 (lima) mode kontrol, yaitu:

- Two-position “on-off” control;
- Time “on-off” control;
- Variable control;
- Proportional control;
- Proportional with automatic reset control

**Two-position on-off control**

*Two-position on-off control* merupakan jenis aksi instrumen kontrol yang paling banyak digunakan. Instumen kontrol ini mengatur beroperasinya *controlling device*

“on” atau “off”. Contoh nyata *aksi two-position on-off control* adalah sistem kontrol pada unit refrijerator. Di mana thermostat mengaktifkan kompresor (*turn-on*) untuk mendinginkan ruang kabinet jika ruang kabinet menjadi terlalu hangat, dan thermostat akan menon-aktifkan kompresor (*turn-off*) jika kondisi ruang di dalam kabinet telah mencapai suhu yang diinginkan.

Sistem *on-off contol* dua posisi ini memiliki dua sistem pengaturan, yaitu: (1) pengaturan rentang suhu (*range setting*) dan (2) pengaturan beda suhu (*differential setting*). Range setting merepresentasikan besaran suhu atau tekanan di mana piranti kontrol harus beroperasi dengan baik.

Pengaturan range setting akan mengubah tingkat set point thermostat. Berikut ini diberikan contoh aplikasinya:

Range setting 1: Pengaturan awal menghasilkan aksi sebagi berikut:

- Thermostat „On” : 72$^{o}$F
- Thermostat “Off” : 77$^{o}$F

Range setting 2: pengaturan ulang naik sebesar 3$^{o}$F:

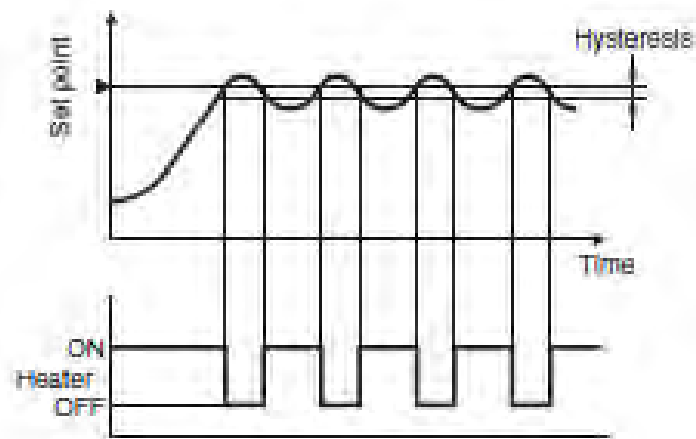
- Thermostat „On” : 75$^{o}$F
- Thermostat “Off” : 80$^{o}$F

Pengaturan Differential setting menghasilkan aksi yang berbeda antara kondisi thermostat “On” dan Thersmotat “Off” pada rentang set point tertentu. Pengaturan differential akan menaikkan atau menurunkan perbedaan amtara kedua kondisi tersebut. Berikut ini diberikan contoh aplikasinya:

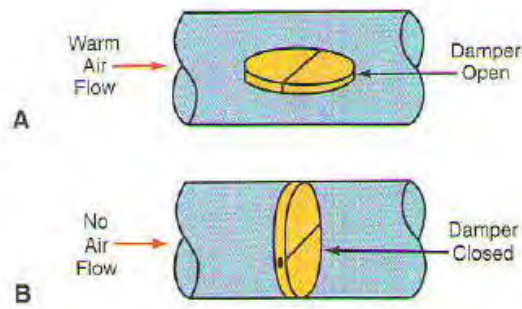
Differential setting 1: Pengaturan awal menghasilkan aksi sebagi berikut:

- Thermostat „On” : 72$^{o}$F
- Thermostat “Off” : 77$^{o}$F (memberikan beda sebesar 5$^{o}$F diff)

Differential setting 2: pengaturan ulang naik sebesar 3$^{o}$F:

- Thermostat „On” : 72$^{o}$F
- Thermostat “Off” : 80$^{o}$F (memberikan beda sebesar 8$^{o}$F diff)

Gambar 1.5 Aksi Kontrol Dua Posisi

Operating differential merupakan perbedaan suhu atau tekanan aktual yang terjadi di dalam ruang yang dikondisikan. Jika nilai differential yang diinginkan lebih kecil dari pada nilai operating differential, maka sistemnya menjadi tertinggal (lag). Jika nilai differential yang diinginkan lebih besar dari pada nilai operating differential, maka sistemnya mendahului (lead). Jika operating differential terlalu rendah, maka siklus sistem akan menjadi terlalu sering, dan jika operating differential terlalu besar, maka sistemnya tidak dapat mempertahankan suhu dan tekanan pada rentang yang diinginkan.

Gambar 1.6 memperlihatkan contoh aplikasi two-position on-off control pada suatu pengaturan pintu udara (damper). Jika damper terbuka, maka area yang dikondisi mendapat pemanasan, sehingga suhu area naik. Jika damper tertutup, maka udara panas tidak mengalir ke dalam area yang dikondisikan, sehingga suhunya turun.

Gambar 1.6 Aksi Two-osition on-off Control pada Damper Udara

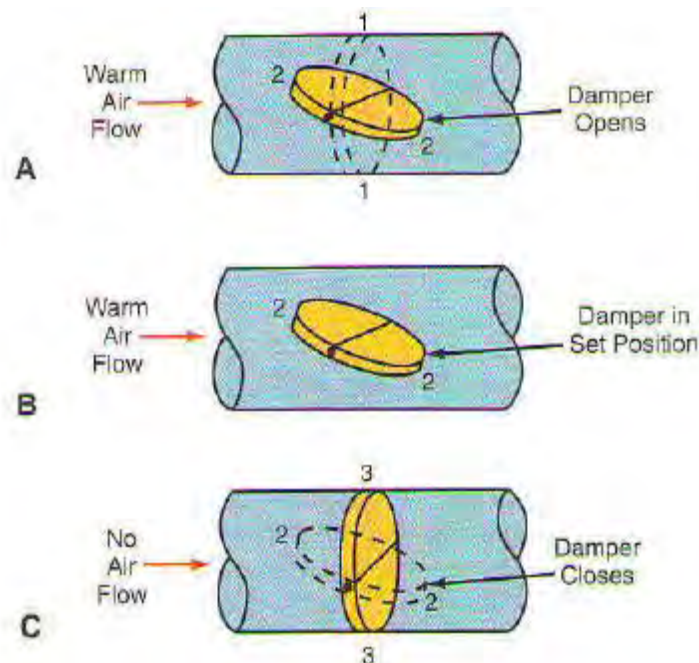
Aksi timed on-off control biasanya diterapkan pada situasi di mana operating differential terlalu besar. Satu cara untuk mewujudkan aksi ini adalah memasang anticipator dalam on-off control. Alat tersebut akan mengaktifkan operating device lebih cepat sebelum kondisi kerja normalnya. Hal ini akan mengurangi operating differential. Heating thermostat dengan aksi timed on-off control *dilengkapi* dengan elemen pemanas (*heater*) berdaya rendah yang berfungsi sebagai anticipator. Elemen pemanas akan memanaskan thermostat lebih cepat dibandingkan keadaan normalnya. Hal ini membuat heating thermostat menonaktifkan furnace lebih cepat dibandingkan kondisi normalnya. Hal ini dapat mencegah suhu ruang menjadi terlalu hangat.
Dalam sistem pendinginan, energi panas ditambahkan pada thermostat selama periode off cycle (*cooling anticipation*). Thermostat dapat mengaktifkan operating device sebelum suhu ruang menjadi terlalu hangat.

Satu tipe timed on-off control menggunakan timed switch (timer) yang dapat membuka dan menutup kontak listrik. Sebagai contoh, kompresor beroperasi (on) selama lima menit, kemudian berhenti (off) selama 20 menit. Kemudian bekerja lagi selama lima menit, dan berhenti selama 20 menit, dan seterusnya.

Aksi variable control dilaksanakan sebagai berikut: kontrol bergerak secara gradual  dari posisi satu ke posisi lainnya (sebagai contoh variasi posisi damper). Jika suhu ruang sudah mencapai rentang yang diinginkan, maka tidak ada sinyal yang ditransmisikan. Maka posisi damper tidak berubah dan tetap pada posisi sebelumnya

sampai ada sinyal baru yang diterima dari piranti kontrolnya. Gambar 1.7 memperlihatkan prinsip aksi variable control.

Dalam Gambar 1.7 A, damper bergerak secara gradual dari posisi satu (1) ke posisi dua (2). Hal ini membuat lebih banyak udara panas masuk ke dalam ruang yang dikondisikan sehingga meningkatkan suhu ruang hingga di atas batas bawah. Ketika suhu mencapai rentang yang diinginkan, thermostat mengirimkan sinyal untuk menghentikan gerakan membuka damper, sehingga posisi damper tetap pada posisi dua (2). Dalam Gambar 1.7 B, damper tetap pada posisi 2 ketika titik suhu berubah bervariasi pada rentang atas dan bawah. Jika suhu naik melebihi rentang batas atas, thermostat mengirimkan sinyal untuk menutup damper secara gradual.

Dalam Gambar 1.7 C, Thermostat mengkomando pergerakan menutup damper berhenti, damper berhenti pada posisi tiga (3) ketika suhu jatuh di bawah batas atas. Siklus ini akan terulang ketika suhu melebihi batas yang telah ditentukan.

Gambar 1.7 Aksi Variable Control

Pada aksi proportional control, sinyal output yang dikirimkan oleh piranti kontrol buka sinyal on dan sinyal off, melainkan sinyal yang selalu berubah secara kontinyu atau lazim disebut sebagai sinyal analog. Variasi sinyal tergantung pada

jumlah perubahan yang diperlukan oleh kondisi aktual. Dalam aksi ini, operating device diatur proportional terhadap kekuatan sinyal kontrol. Aksi proportional control lebih sensitif dibandingkan aksi on-off control atau aksi variable control.

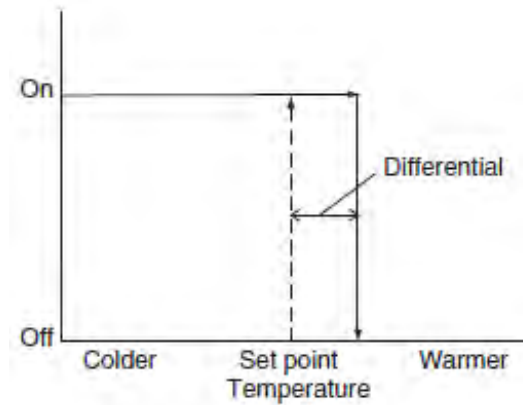
Berikut ini diberikan istilah baku yang lazim digunakan pada aksi proportional control:

- Setpoint, yaitu posisi pengaturan yang dipilih pada piranti kontrol untuk mencapai dan memelihara kondisi yang diinginkan.
- Control point adalah kondisi yang sedang dijaga statusnya.
- Offset merupakan deviasi antara setpoint dan control point. Offset sering disebut sebagai error.

Damper seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 1.8 posisinya selalu berubah. Jika suhu berubah, maka posisi damper akan diatur ulang agar suhu dapat tetap dipertahankan sesuai keinginan. Aksi proportional dengan reset merupakan metoda lajutan terbaik untuk memelihara kondisi yang diinginkan. Dalam aksi ini, control point (misalnya tekanan dan suhu aktual) diatur secara otomatik ke set point (tekanan dan suhu yang diinginkan) jika diperlukan. Seringkali, piranti kontrol didisain untuk memprediksi kondisi yang diharapkan. Kemudian piranti kontrolnya membuat aksi sangat awal, sebelum gangguan muncul.

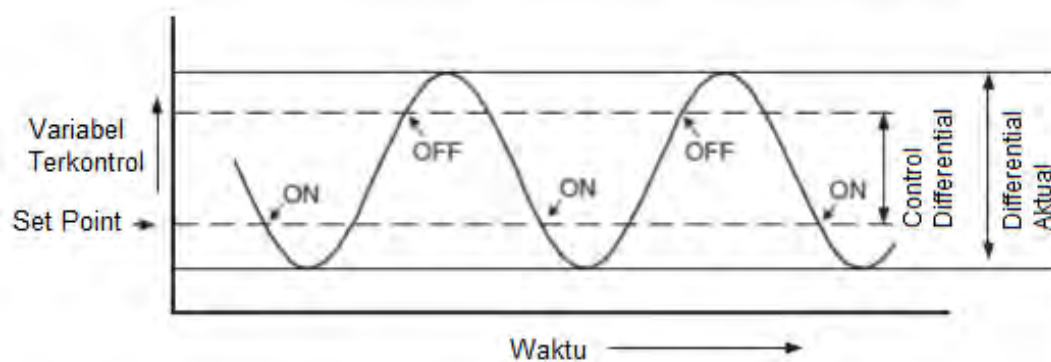
- Gambar 1.8 Aksi Proportional Control

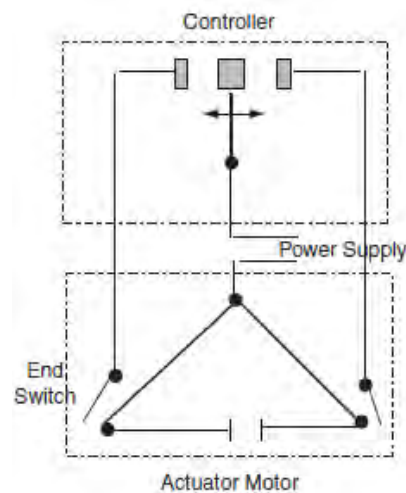
Mode kontrol yang paling sederhana dan banyak diterapkan dalam berbagai keperluan adalah control dua posisi. Sistem ini hanya memiliki dua status, seperti status On dan Off untuk fan dan pompa, atau status buka dan tutup sebuah katub atau damper (pintu angin). Sistem refrigerasi & tata udara untuk keperluan rumah tangga, menerapkan system kontrol dua posisi. Sebuah sistem yang hanya memiliki dua

status operasi hampir selalu dikontrol menggunakan kontrol dua posisi. Gambar 1.9 memperlihatkan aksi dari kontrol dua posisi dari sebuah sistem pemanasan ruang.

**Gambar 1.9 Sistem Pemanasan Ruang Sederhana**

Gambar 1.10 memperlihatkan apa yang terjadi dengan control semacam ini ketika piranti control merespon suplai udara yang lebih rendah dari suhu yang diinginkan (*set point*) sekitar 50% dari beban. Dalam hal ini, dua posisi yang dimaksud adalah posisi katub terbuka penuh (aliran air panas maksimum), dan posisi katub tertutup penuh (tidak ada aliran). Sepanjang sumbu vertikal menunjukkan nilai variabel terkontrol (yakni suplai udara), sedangkan waktu diletakkan disepanjang sumbu horizontal.

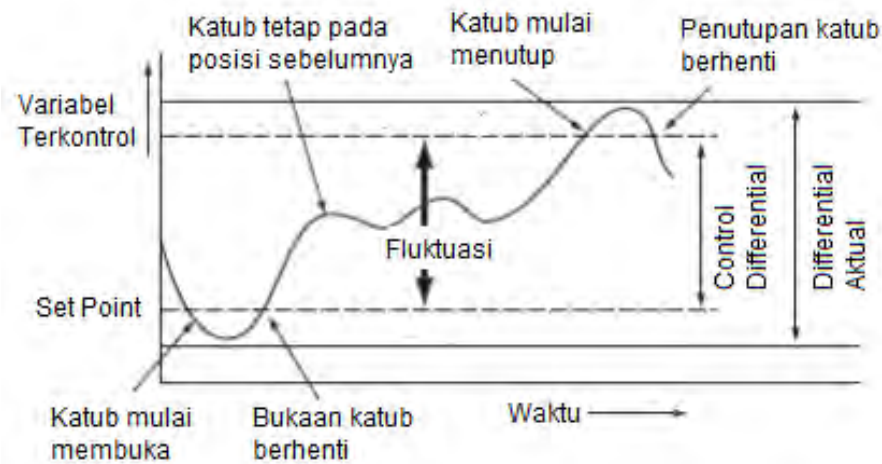
Perhatikan kembali Gambar 1.10, karena udara yang masuk ke pipa pemanas lebih rendah suhunya dibandingkan nilai set point, suhu udara yang dideteksi oleh sensor suhu menjadi turun. Begitu nilainya turun di bawah set point (diperlihatkan dengan garis titik-titk horisontal) maka piranti kontrol akan memberikan komando untuk membuka katub secara penuh. Medium pemanas mengalir ke dalam pipa pemanas, tetapi suhu udara tidak dapat naik secara tiba-tiba, karena aktuator butuh waktu untuk membuka katub dan akan terlebih dahulu memanaskan pipa pemanas sebelum memanaskan udara sekitar pipa pemanas. Sehingga suhu udara akan terus turun di bawah set point sebelum kemudian naik. Katub akan tetap terbuka hingga suhu udara suplai naik hingga mencapai nilai di atas set point. Kontrol differential merupakan nilai tetap yang besarnya sama dengan selisih atau beda antara nilai *cut in*

(perintah membuka katub) dan *cut off* (perintah menutup katub); direpresentasikan dalam gambar dengan beda antara set point dengan garis horizontal putus-putus.

**Gambar 1.10 Respon Kontrol Pemanas Dua Posisi**

Jika suhu udara memotong garis tersebut, maka piranti kontrol akan menutup katub. Kejadian yang sama terulang lagi, ada waktu tunda sebelum akhirnya suhu udara turun karena perlu waktu untuk menurunkan terlebih dahulu suhu pipanya. Begitu seterusnya, kejadian tersebut akan berulang. Pada contoh ini, set point diperlihatkan menjadi *ON-point* (yaitu titik di mana katub terbuka), dan set point plus control differential manjadi *OFF-point* (di mana katub tertutup. Pada kasus lain, lazim diperlihatkan set point menjadi titik tengah antara *ON-point* dan *OFF-point*, karena ini merupakan nilai rata-rata dari variabel terkontrol. Pada prakteknya, bila menggunakan thermostat sebagai piranti kontrol, maka set point akan menjadi titik tengah antara *ON-point* dan *OFF-point*.

**Gambar 1.11 Sistem Kontrol Floating**

**Kontrol Floating**

Kontrol *Floating* (*floating control*) lazim disebut juga sebagai kontrol tiga posisi (*tri-state control*) yang mirip dengan kontrol dua posisi (*two-position control*), tetapi tidak dibatasi hanya pada dua posisi. Sistem kontrol tiga posisi harus mempunyai piranti kontrol jenis modulating, seperti damper, atau katub yang digerakkan oleh motor. Piranti kontrol memiliki tiga mode operasi, yaitu *drive open, idle, drive closed.*

Seperti pada kontrol dua posisi, *floating control* memiliki *set point* dan *control differentia*l. Beberapa *floating controller* memiliki dua pengaturan set point, yaitu *upper set point dan lower set point*. *Control differential* merupakan beda antara kedua *set point* tersebut. Jika suhu udara suplai turun hingga di bawah *lower set point*, maka piranti kontrol (*controller*) akan mulai menggerakkan katub menjadi terbuka (*drive open*), sehingga meningkatkan jumlah aliran medium pemanas melalui pipa. Karena adanya penundaan waktu dalam aksi mekanik membuka katub dan proses kenaikan suhu yang tidak serta merta naik (*thermal lag)*, maka suhu udara suplai terus turun hingga di bawa garis *lower set point* sebelum naik lagi.

**Gambar 1.12 Sistem Pemanasan Ruang Sederhana**

Bila kenaikan suhu sampai di atas garis differential, katub akan kembali menutup. Bila suhu berada diantara garis differential maka posisi katub tidak berubah. Jika suhu naik di atas garis differential bagian atas, piranti kontrol akan mulai menutup katub, sehingga mengurangi jumlah medium pemanas yang melalui pipa. Suhu udara suplai akan berfluktuasi antara garis differential atas dan garis differential bawah.

**Kontrol Modulasi**

Kontrol modulasi lazim disebut juga sebagai kontrol kontinyu atau kontrol analog. Pada awalnya, hanya istilah kontrol proporsional yang digunakan pada kontrol modulasi karena piranti kontrol pada saat itu terbatas pada penerapan logika control proportional. Pada tahapan berikutnya, kontrol modulasi modern telah menggunakan algoritma yang lebih komplek sehingga menghasilkan logika proporsional yang lebih rumit, yakni logika Proporsional, integral, dan derivatif.

Ingat, kontrol otomatik yang sederhana meniru logika manusia yang kita terapkan pada saat melakukan kontrol manual. Untuk memahami beberapa logika kontrol marilah kita bayangkan lagi proses menyetir mobil pada kecepatan konstan. Ketika berada di jalan raya datar maka kita dapat mempertahankan kecepatan mobil berada pada kecepatan konstan. Begitu kita sampai pada daerah tanjakan, maka kecepatan mobil akan turun, sehingga pengendara akan menginjak pedal akselerator

untuk menaikkan kecepatan mobil. Sebaliknya, ketika kita sampai pada daerah turunan, maka kecepatan mobil akan naik dengan sendirinya, walaupun tekanan pada akselerator tidak ditambah, sehingga kita perlu mengurangi tekanan pada pedal akselerator. Cara berfikir berkendaraan seperti tersebut dapat dibuat formula matematikanya sebagai berikut:

$$V = V_O + V_P + V_I + V_D$$

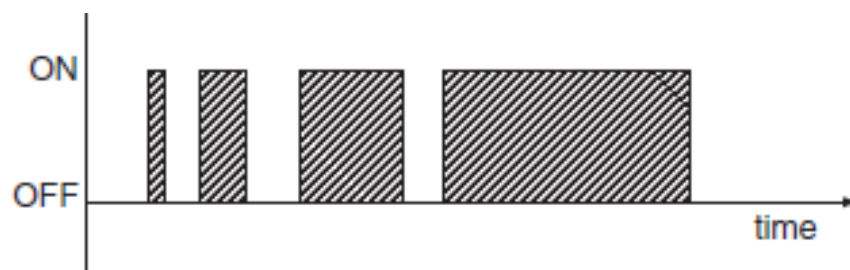
$$V = V_O + K_P e + K_I \int e\,dt + K_D \frac{de}{dt}$$

Pada ekspresi matematik tersebut, V adalah *outputcontroller*. Pada contoh kasus ini, V adalah berapa besar tekanan yang kita berikan untuk menginjak pedal akselerator. Pada sisi kanan, Vo adalah pengaturan offset: yakni besaran tekanan pijakan pada akselerator ketika berada di jalan datar, dan untuk menjaga agar mobil meluncur secara stabil pada kecepatan tertentu sesuai keinginan. Istilah berikutnya Vp, adalah istilah proportional. Yakni proporsional terhadap error e, yaitu perbedaan antara kecepatan actual dan kecepatan yang diinginkan (*set point*). Jika kita menginginkan untuk menambah kecepatan pada jalan datar maka kita tingkatkan tekanan pada pedal akselerator.

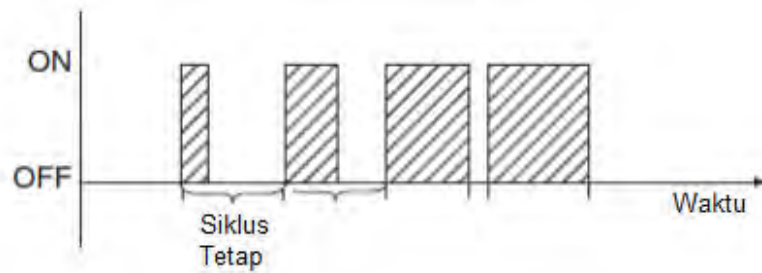
Dalam hal ini kita menggunakan proportional control logic. Istilah ketiga adalah Vi, disebut sebagai integral, yakni proporsional terhadap integral error pada waktu tertentu. Secara sederhana istilah integral pada pokoknya merupakan harga rata-rata bobot-waktu dari error, berapa besar penyimpangan dari set point dikalikan dengan berapa lamanya waktu yang telah diambil. Dalam contoh kasus ini, jika kita merasakan berada pada suatu kecepatan yang diinginkan dalam waktu lama, dan kemudian menambah tekanan pada pedal akselerator untuk meningkatkan kecepatan mobil, berarti kita telah menggunakan logika integral. Istilah terakhir adalah Vd, disebut derivatif, yakni proporsional terhadap *derivatif error* setiap saat. Secara sederhana istilah derivatif pada pokoknya merupakan laju perubahan dari error, seberapa cepat kita mencapai atau menjauh dari set point. Dalam contoh kasus ini, jika kita merasakan bahwa kita mencapai kecepatan yang diinginkan terlalu cepat sehingga kita mulai mengurangi tekanan pada pedal akselerator, dalam hal ini kita

menggunakan logika derivatif. Algoritma seperti tersebut lazim disebut sebagai PID controller.

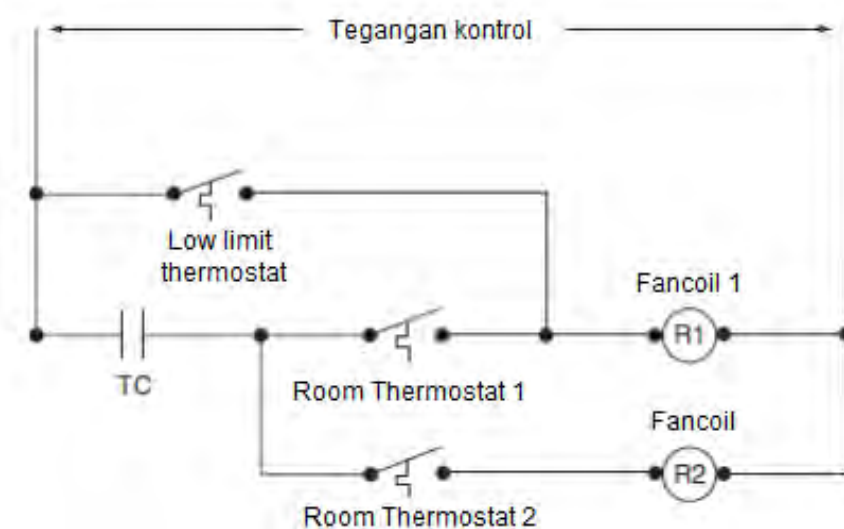
**Pulse-width Modulation, & Time-proportioning Control**

Jenis logika modulasi yang diterapkan pada sistem kontrol On-off adalah Pulse witdh modulation (PWM). Output yang dihasilkan berdasarkan pergerakan step diskrit secara serial. Dalam hal ini bentuk output dari piranti kontrolnya berupa serangkaian pulsa yang berbeda-beda waktunya, untuk mengoperasikan piranti terkontrol seperti motor stepper yang menggerakan katub atau damper atau kontrol On-off untuk mengontrol elemen pemanas. Gambar 1.13 memperlihatkan tipikal PWM control.

**Gambar 1.13 Tipikal PWM**

Sinyal output dari suatu jerat kontrol (V) lebih menyatakan panjang pulsa dari pada posisi dari piranti terkontrol. Jika posisi aktual dari piranti terkontrol harus diketahui, maka piranti umpan balik (*feedback*) untuk mendeteksi posisi aktuator harus dipasang dan dikirimkan kembali ke sistem kontrolnya.

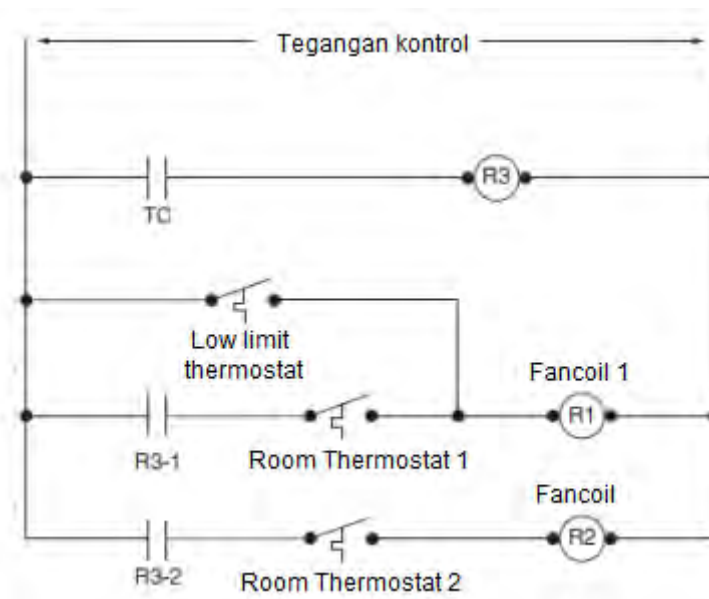
Variasi lain dari kontrol modulasi adalah *time-proportioning control* seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.14. Seperti PWM, output dari *time-proportioning control* berupa serangkaian pulsa on/off, tetapi siklus waktunya tetap, yang berubah adalah persentasi waktu on dan waktu off .

**Gambar 1.14 Sistem Pemanasan Ruang Sederhana**

**Tegangan Feedback**

Contoh kasus yang sangat sederhana diperlihatkan dalam Gambar 1.15. Katakanlah diinginkan untuk mengoperasikan dua unit *heating fan-coil* yang dikontrol melalui timeclock contact (TC), untuk menjaga suhu ruang di bawah 70$^{O}$F, yang pengawasannya dilakukan oleh dua buah room thermostat. Di lain pihak, diinginkan pula untuk pengaktifan fan-coil 1 jika suhu ruang turun di bawah nilai limit bawah set point (55 $^{O}$F), maka ditambahkan koneksi parallel ke rele yang akan mengoperasikan fan-coil 1.

**Gambar 1.15 Proses Terjadinya Tegangan Feedback**

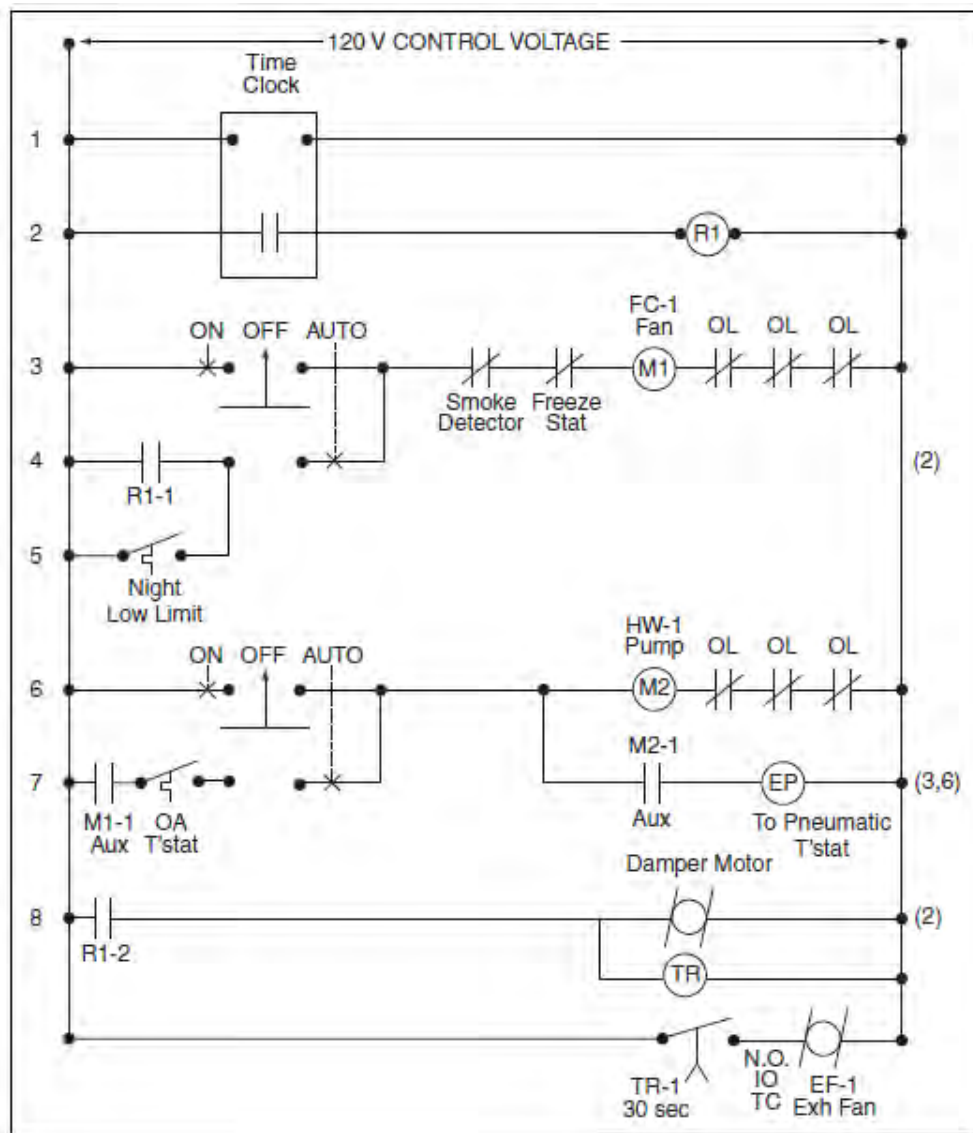
Operasi sekuensial dari sistem kontrol ini adalah pada malam hari ketika *low limit room thermostat* menutup, maka kontak dari dua buah *room thermostat* juga

akan menutup karena set point-nya lebih tinggi. Hal ini akan menyebabkan ada tegangan balikan melalui kedua *room thermostat* tersebut sehingga fan-coil 2 juga akan bekerja. Padahal, mestinya fan-coil 2 hanya beroperasi ketika suhu di bawah 70 $^{O}$F.

Untuk mencegah itu, maka perlu ditambahkan satu rele, yaitu R3 seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.16. Pada malam hari ketika *low limit thermostat* menutup, maka hanya *fan-coil 1* yang diaktifkan oleh R1 yang akan bekerja, sedang *fan-coil 2* tidak akan bekerja.

Gambar 1.16 Koreksi terhadap adanya Feedback

Gambar 1.17 memperlihatkan contoh diagram ladder yang lebih rumit. Pada suatu system control yang rumit dan dinyatakan dengan diagram ladder, biasanya untuk memudahkan interprestasinya maka pada setiap anak tangga (rung) diberi nomor urut sebagai acuan. Jika kontak rele digunakan pada suatu baris rung, maka nomor baris di mana koil rele berada harus ikut dituliskan untuk memudahkan pembacanya mengikuti logika kontrolnya.

Contoh diagram ladder yang diperlihatkan dalam Gambar 1.17 adalah sebuah sistem sederhana yang terdiri dari fan-coil, hot water pum, dan toilet exhaust fan

yang keseluruhannya melayani sebuah ruangan tunggal. Berikut ini dinyatakan logika kontrolnya:

**Gambar 1.17 ContohDiagram Ladder yang lebih Rumit**

Fan dan pompa dapat dijalankan dan dimatikan secara manual atau secara otomatik menggunakan sakelar pilih hand-off-auto switch. Pada posisi Auto, fan beroperasi berdasarkan pada timeclock atau berdasarkan low limit thermostat (di set pada $55^{O}$F dengan $3^{O}$F differential). Jika piranti deteksi freeze-stat detector atau discharge smoke detector aktif (trip), maka fan akan berhenti bekerja baik dalam mode manual ataupun mode otomatik. Pada posisi auto, pompa akan bekerja ketika fan bekerja,

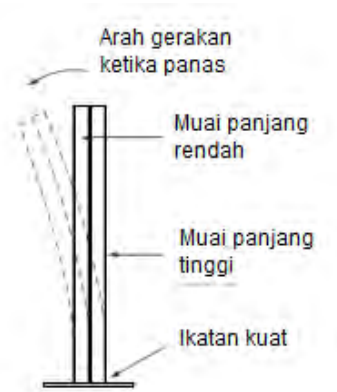
melalui kontak bantu fan starter (M1-1), dan kontak thermostat yang mendeteksi suhu udara luar (OA T“stat) yang diset < $65^{O}$F. Ketika pompa aktif, pneumatic thermostat pengontrol katup water control (tidak terlihat dalam gambar karena bukan piranti elektrikal) akan aktif melalui katub electric-puematic (EP). Toilet exhaust fan akan mulai diaktifkan melalui timeclock setelah discharge damper terbuka penuh (yang digerakkan oleh two-position actuator) selang 30 detik kemudian

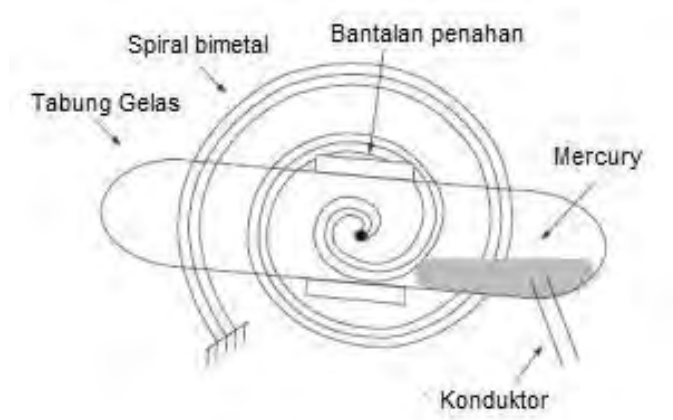
Sebuah beban pada diagram ladder tersebut akan aktif ketika kontak-kontak yang menghubungkan piranti ke garis daya yang terletak di kiri dan kanan seluruhnya tertutup. Sebagai contoh, lihat baris 3 dan 4 dan anggaplah sakelar pilih H-O-A pada posisi Auto. Untuk mengaktifkan rele fan-coil (M1), maka pertama-tama kontak rele R1-1 atau kontak low-limit thermostat tertutup (kontak low-limit thermostat akan menutup ketika suhu turun di bawah set point $55^{O}$F.

Tegangan kontrol akan melalui terminal Auto, dan dua kontak dari piranti pengaman (*smoke detector* dan *freeze-stat*). Kedua kontak tersebut biasanya *normally close* (NC), artinya kontak tersebut akan terbuka apabila terjadi peristiwa gangguan. Misalnya, jika smoke detector atau ketika suhu freezing pada inlet koil terdeteksi. Anggaplah, bahwa semua piranti pengaman dalam keadaan baik, maka tegangan control akan sampai ke koil starter. Rangkaian keseluruhan menjadi tertutup jika seluruh kontak overload juga tertutup, selanjutnya rele M1 (FC1) mendapat penguatan dan motor fan akan mulai beroperasi. Pada saat yang sama, kontak bantu dari rele M1 tertutup. Kontak tersebut digunakan untuk menjalankan pompa hot water pump.

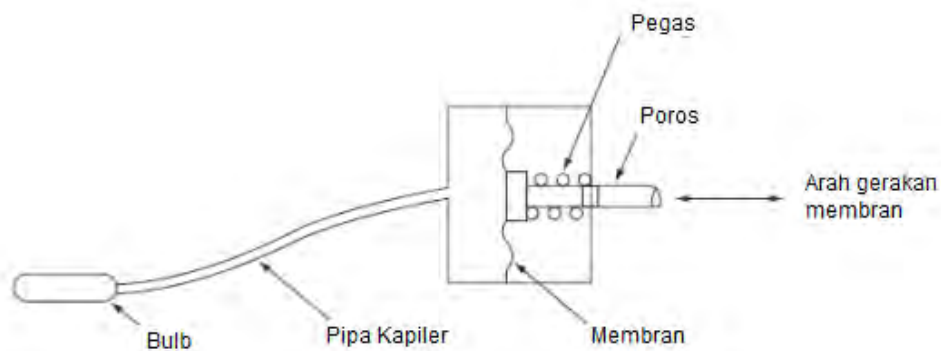
**Aplikasi Kontrol Dua Posisi**

Sensor suhu yang lazim digunakan pada control dua posisi adalah bimetallic strip, mercury switch, dan bulb-and-capillary atau remote bulb sensor. Sensor humiditas yang digunakan pada control elektrik beroperasi secara mekanik menggunakan bahan higroskospis seperti rambut kuda atau pita nilon yang akan berubah panjangnya bila kandungan uap air berubah. Electric differential pressure sensor lazimnya menggunakan bourdon tube atau teknologi diafragma untuk

mengoperasikan kontak yang digunakan pada system dua posisi, dan floating control. Kontrol elektrik seringkali digunakan untuk control modulasi tekanan, karena tekanan merupakan variable yang berubah cepat dan biasanya memerlukan sinyal fast-acting. Demikian juga flow status sensor biasanya merupakan sakelar dua posisi.

**Gambar 1.18 Bimetal Strip Switch**

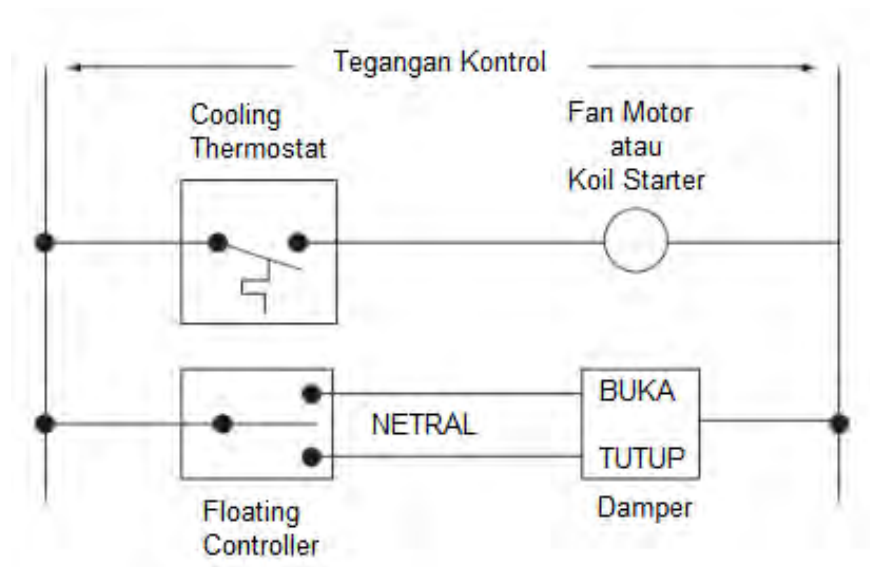
Gambar 1.18 memperlihatkan tipikal sakelar otomatis dengan bimetal strip. Bimetal strip terdiri dari dua jenis logam yang mempunyai muai panjang berbeda, sehingga ketika suhu naik maka bimetal strip akan melengkung.

**Gambar 1.19 Mercury switch**

Gambar 1.19 memperlihatkan tipikal sakelar otomatis dengan tabung mercury. Mercury switch terdiri dari tabung yang berisi zat mercury yang diikat dengan spiral bimetal ditengah sehingga dapat bergerak bebas mengikuti gerakan spiral bimetal. Pada salah satu sisi tabung dipasang dua konduktor sebagai sakelar ketika terkena zat mercury.

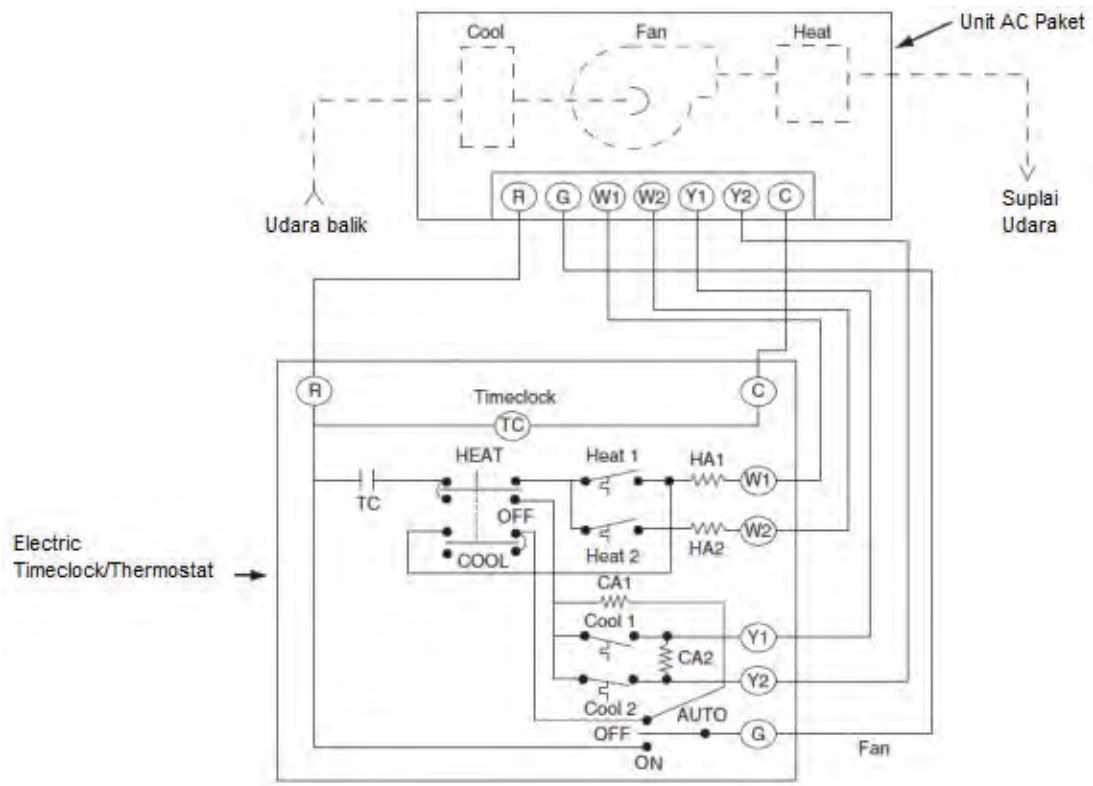
Gambar 1.20 memperlihatkan tipikal thermoswitch yang terdiri dari bulb yang berisi gas, membran yang bergerak bebas karena pengaruh tekanan dari pegas dan tekanan bulb, kontak sakelar yang dioperasikan oleh gerakan membran. Ketika suhu bulb masih rendah konatk sakelar menutup karena tekanan pegas, ketika suhu bulb naik, maka gas akan menekan membrane sehingga akan membuka kontak sakelar.

**Gambar 1.20 Bulb & Capillary switch**

Kontrol elektrik yang diterapkan pada sistem refrigerasi dan tata udara adalah kontrol dua posisi, yang menggunakan thermostat, humidistat, atau pressurestat, di mana variable terkontrol dideteksi dan dibandingkan dengan set point untuk mengaktifkan kontak sakelar. Gambar 1.21 memperlihatkan diagram ladder untuk mengontrol sistem pemanas ruang.

Gambar 1.21 memperlihatkan contoh bagaimana mendisain kontrol Dua-posisi dan kontrol modulasi yang sederhana. Pada baris jaringan pertama, sebuah *cooling thermostat* (kontak thermostat akan menutup jika suhu naik di atas set point)

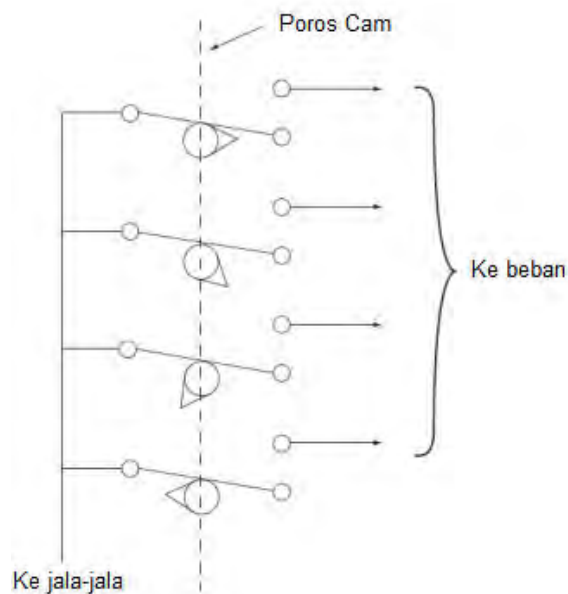
dipasang untuk mengontrol motor fan atau koil starter. Koil Starter adalah koil solenoid dari suatu kontaktor. Koil Starter digunakan pada sistem kontrol ini jika daya motor lebih dari ½ HP.  Jika kontak thermostat menutup karena mendeteksi adanya keanikan suhu di atas set point, maka fan atau starter coil mendapat catu tegangan dari thermostat maka motor fan akan beroperasi. Jika suhu turun kembali di bawah set point maka kontak thermostat terbuka dan motor fan berhenti beroperasi.

**Gambar 1.21 Sistem Pemanasan Ruang Sederhana**

Pada garis network kedua, sebuah floating controller digunakan untuk mengontrol sebuah penggerak damper atau penggerak katub (*valve actuator*). Jika floating controller mendeteksi nilai variable terkontrol di atas nilai set point, maka upper contact menutup sehingga akan membuka (*open*) damper atau katub. Aktuator penggerak damper atau katub akan membuka dan menutup secara penuh pada panjang langkah tertentu, biasanya memerlukan waktu 10 hingga 90 detik. Jika variable terkontrol di bawah set point, maka lower contact menutup, menggerakkan damper atau katub untuk ke posisi tertutup (*closed*). Jika variable terkontrol berada dalam rentang differential dari controller-nya, maka kontak floating controller akan berada pada posisi netral, sehingga damper atau katub tetap berada pada posisi terakhir.

Air conditioner jenis paket produksi lama biasanya menggunakan system control berbasis elektromekanik, tetapi saat ini beberapa unit baru telah menggunakan system kontrol elektronik (*analog electronic control*) atau digital control. Dalam banyak kasus, peralatan tersebut menggunakan system kontrol dua posisi atau *step control logic* karena sumber pendinginan (*cooling source*) dan sumber pemanasan (*heating source*) lazimnya diaktifkan secara On/Off. Misalnya, katub gas pada furnace atau kompresor pada unit ekspansi langsung (*direct expansion cooling*). Jika yang diperlukan hanya dua posisi logika, maka pengontrolan yang diterapkan berbasis waktu dan sakelar`thermal (*thermostat*). Beberapa produk baru telah dilengkapi dengan *modulating thermostat*, *built-in humidity control*, dan *modulating control* dengan *Variable frequency drive* (*VFD*) dan atau *reheat control*.

**Gambar 1.22 Unit Paket dengan Electric Control**

Tipikal kontrol elektromekanik yang diterapkan pada unit tata udara jenis paket (*packaged air conditioner*) dengan dua step control, yaitu cooling action dan

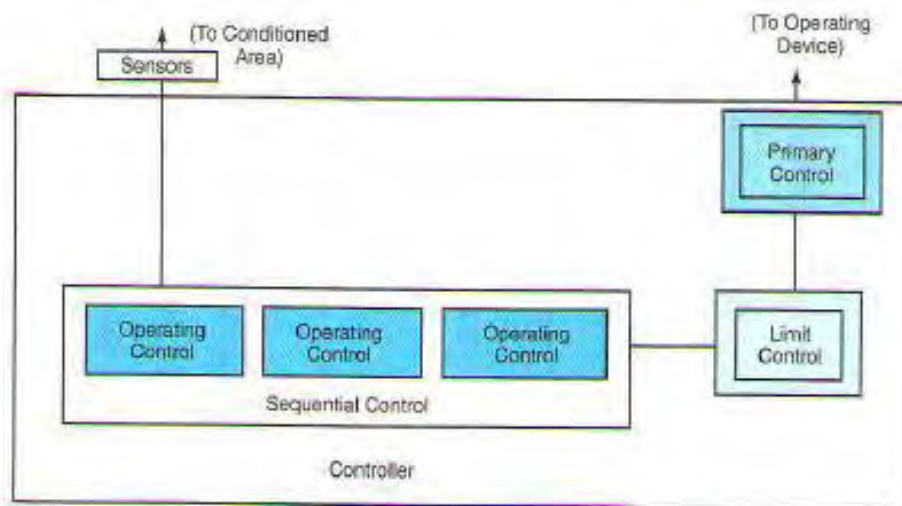
heating action, diperlihatkan dalam Gambar 1.22. Terlihat dalam gambar, adanya heat anticipator (HA) dan cool anticipator (CA) dalam bentuk sebuah resistan dari elemen pemanas yang dihubungkan secara seri, sehingga ia hanya bekerja sesuai proses yang sedang berlangsung apakah cooling action atau heating action. Cooling anticipation resistor terhubung seri sehingga ia hanya aktif (on) pada saat cooling stage off, dan proses yang berlansung adalah proses pendinginan (cooling action). Coling resistor berdampak pada operasi thermostat sehingga dapat bekerja lebih cepat. Dalam hal ini, anticipation heater resistor mematikan proses heating lebih cepat sedang cooling anticipator resistor mematikan proses cooling lebih cepat.

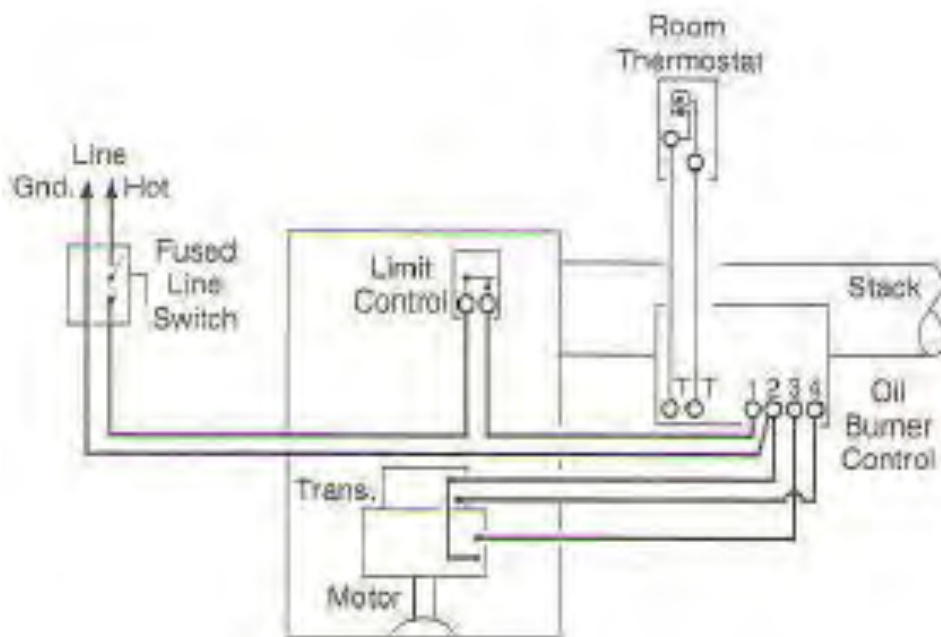
Step control dilaksanakan dengan menggunakan multi-stage controller, biasanya diterapkan dengan menggunakan two-position controller secara seri dengan sensor yang sama. Biasanya jumlah stepping dapat dua atau tiga step. Bila diperlukan lebih banyak step (misalnya pada kasus pengontrolan multi-step refrigeration compressor), biasanya menggunakan stepping switch, seperti diperlihatkan dalam Gambar 1.23. Stepping switch terdiri dari sekelompok cam penggerak kontak sakelar yang disusun sedemikian sehingga operasi setiap cam berurutan tergantung pergerakan stepping switch. Camshaft digerakkan oleh motor, yang dikontrol oleh modulating controller. Sehingga, stepping switch mengubah modulating controller menjadi step controller. Pengaturan Angular posisi cam memungkinkan unit ini menutup kontak sekali kejadian pada setiap waktu tertentu, sehingga operasi penutupan kontak berlangsung secara berurutan dengan jeda waktu tertentu.

**Gambar 1.23Stepping switch**

## 4. Komponen Sistem Kontrol

Istilah pengendali (*controller*) merupakan kombinasi dari komponen kontrol dan rangkaian kontrol yang digunakan untuk mengoperasikan peralatan refrijerasi dan tata udara secara otomatik dan secara akurat. Istilah akurat ditekannkan di sini karena berkaitan dengan performansi unit refrijerasi dan tata udara. Berbagai komponen di dalam sistem kontrol pada prinsipnya dapat dibagi menjadi tiga kategori, Yaitu:

- Primary control
- Operating control
- Limit control

Dalam industri pendingin (*cooling*) dan pemanas (*heating*), ketiga komponen tersebut dikombinasikan menjadi suatu sistem kontrol. Gambar 1.24 Memperlihatkan diagram blok sebuah controller.

Gambar 1.24 Diagram Blok Controller

Primary Control merupakan sebuah piranti di dalam sistem kontrol yang mengoperasikan suatu sistem dengan aman berdasarkan instruksi dari operating control. Pada prakteknya primary control berbeda-beda tergantung pada sistem yang digunakan (sistem pendinginan atau sistem pemanasan).
Gambar 1.25 memperlihatkan wiring diagram sistem pembakaran dengan bahan bakar minyak (oil burner).

Gambar 1.25 Diagram Wiring Tipikal Oil Burner

Operating control digunakan untuk mengontrol aksi starting dan stopping selama siklus pendinginan atau pemanasan berlangsung. Operating control yang paling banyak digunakan adalah sequential operating control. Sequential operating control adalah operasi pengontrolan secara seri atau sekuensial. Kontrol sekuensial ini digunakan untuk menjalankan dan menghentikan siklus pendinginan dan siklus pemanasan.

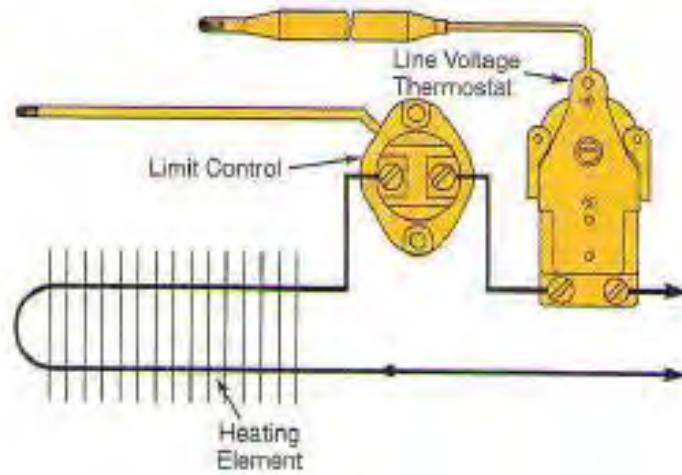
Kontrol sekuensial digunakan untk mengatur input panas selama proses pemanasan. Kontrol sekuensial juga digunakan untuk mengatur kapasitas pendinginan selama proses pendinginan berlangsung. Pada sistem pemanas ruangan berskala besar, biasanya menggunakan beberapa elemen pemanas dengan kilowatt tinggi dalam suatu sistem. Jika seluruh elemen pemanas berkapasitas tinggi tersebut diaktifkan secara bersamaan akan berdampak pada penurunan tegangan, dan dapat menimbulkan interferensi pada peralatan elektronik. Oleh karena itu perlunya kontrol sekuensial untuk mencegah masalah tersebut.

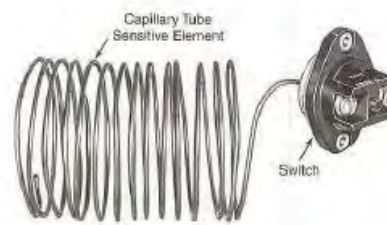
Piranti yang digunakan untuk mengaktifkan elemen pemanas secara sekuensial mencakupi:

- Thermal elemen switch. Switch jenis ini akan tetap terbuka sampai satu elemen mulai bekerja (heat-up). Kemudian switch untuk elemen berikutnya menutup. Aksi ini akan berlangsung secara berurutan hingga seluruh elemen pemanas bekerja.
- Rele. Rele dapat digunakan sebagai switching control, yang difungsikan sebagai interlocking.
- Timer. Timer sebagai piranti penunda waktu untuk keperluan kontrol secara berurutan.

Gambar 1.26 Tipikal Panel Kontrol

Limit control biasanya memiliki fitur sebagai pengaman. Limit control menjaga kondisi minimum atau maksimum yang diijinkan dalam suatu sistem. Limit control jika mendeteksi adanya kondisi yang tidak aman, tidak normal dan membahayakan sistem maka akan mengirimkan instruksi untuk mematikan  atau menghentikan kerja sistem. Tindakan alternatif lain, adalah mengembalikan sistem pada kondisi aman. Seringkali limit control digunakan untuk memberikan tanda bahaya atau peringatan adanya suatu yang tidak normal atau membahayakan.

Sebagai contoh, peralatan pemanas harus memiliki sistem pengamanan yang prima. Sistem ini harus dapat memastikan bahwa pemanas tersebut tidak akan pernah mencapai suhu yang membahayakan. Sebab sebelum suhu yang membahayakan tercapai, maka peralatan pemanas harus sudah dimatikan. Sistem ini akan mengamankan peralatannya sendiri dan juga mengamankan sistem lain yang berada dalam satu sistem dengannya. Gambar 1.27 memperlihatkan diagram wiring dari rangkaian elemen pemanas listrik, thermostat, dan limit control.

Gambar 1.27 Diagram Rangkaian Pemanas Listrik

Limit control biasanya di-set untuk membuka rangkaian kontrol sekitar 20$^{o}$F hingga 40$^{o}$F di atas setting thermostat. Gambar 1.28 memperlihatkan tipikal limit control yang berupa *safety limit switch*.

Gambar 1.28 Safety Limit Switch

## B. Kegiatan Belajar 2

## Memeriksa Kondisi Operasi Sakelar Otomatik berbasis Suhu

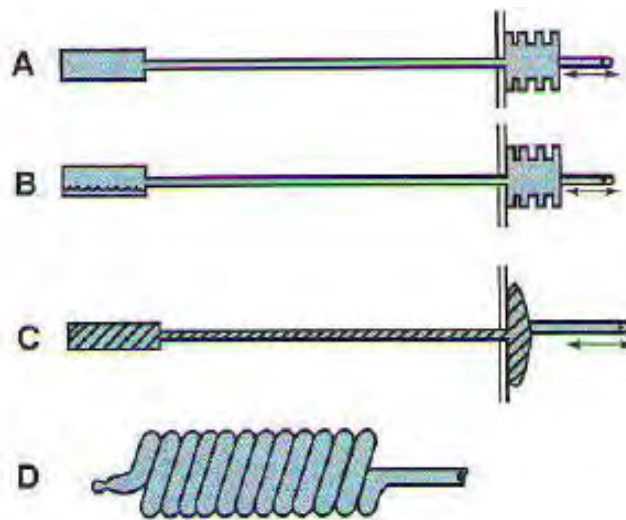
Seperti telah kalian ketahui, bahwa pada sistem refrijerasi dan tata udara menggunakan suhu udara kering (*dry bulb temperature*) yakni suhu yang terukur oleh thermometer sebagai indikator kondisi thermal. Suhu bukan hanya satu-satunya faktor yang berpengaruh terhadap persepsi kenyamanan thermal. Namun suhu merupakan faktor utama dalam menciptakan kenyamanan dan mudah diukur serta dikontrol. Pada sistem refrigerasi & tata udara, sistem kontrol didisain untuk mampu mengatasi beban puncak yang terjadi pada keadaan tertentu**.**

Untuk mempertahankan kondisi suhu ruang pada titik suhu tertentu dibutuhkan piranti kontrol. Saat ini telah tersedia berbagai piranti kontrol suhu yang bekerja secara elektromekanik, elektronik, dan terpogram.

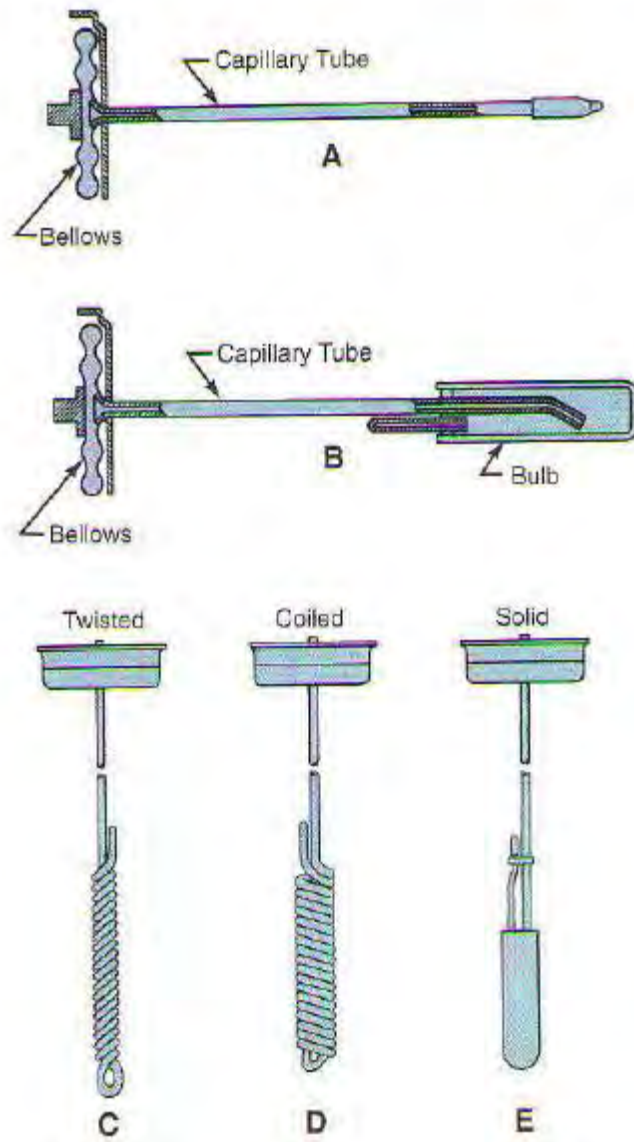
**Lembar Kerja 1:** Sakelar otomatis berbasis suhu dan tekanan merupakan piranti kontrol yang paling tua tetapi masih tetap populer hingga saat ini. Untuk dapat memeriksa kondisi operasi piranti kontrol tersebut, kalian harus memahami siatem dan komponen piranti kontrol tersebut. Untuk itu buat bahan presentasi dengan power point terkait dengan sistem dan komponen piranti kontrol berbasis suhu dan tekanan yang bekerja secara elektromekanik atau lazim disebut sebagai sakelar otomatis berbasis suhu dan tekanan. Untuk itu kalian memerlukan pengamatan mendalam melalui pembacaan literatur yang relevan baik melalui buku, kalatog dan kalian juga bisa melakukan pencarian masalah ersebut di dunia maya (internet). Paparan yang harus kalian sampaikan mencakupi: Apa?, Bagaimana? Dan Mengapa? Terkait dengan piranti kontrol tersebut.

## 1. Prinsip Pengontrolan Suhu

Ada tiga tipe mekanisasi yang digunakan pada motor control thermostat, yaitu: (1) sensing bulb, (2) bimetal, dan (3) solid-state.

*Vapor pressure thermostat* dengan *sensing bulb* merupakan sistem kontrol yang paling banyak digunakan pada sistem refrijerasi. Gambar 2.1 memperlihatkan penggunaan *vapor pressure thermostat*.

Gambar 2.1 Metoda mendapatkan efek gerakan pada perubahan suhu

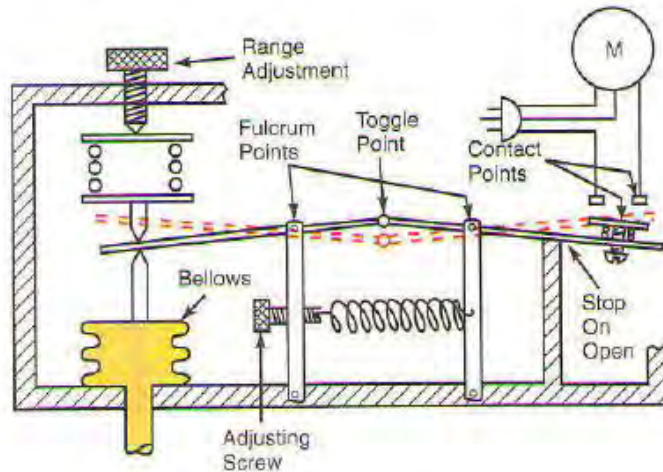
Operasi sensing bulb tergantung pada tekanan gas dari suatu *volatile liquid* (akan berubah menjadi uap pada suhu rendah). Tekanan gas dari *volatile liquid* berdampak pada *flexible bellow* atau diafragma untuk mengontrol mekaniksasi dari thermostat.

*Volatile liquid* ditempatkan di dalam *sensing bulb* di mana *sensing bulb* memiliki kontak langsung dengan evaporator. Sepotong pipa kapiler menghubungkan sensing bulb dengan mekanikasi thermostat. Gambar 2.2 memperlihatkan konstruksi thermostat

Gambar 2.2 Berbagai disain Elemen Thermal

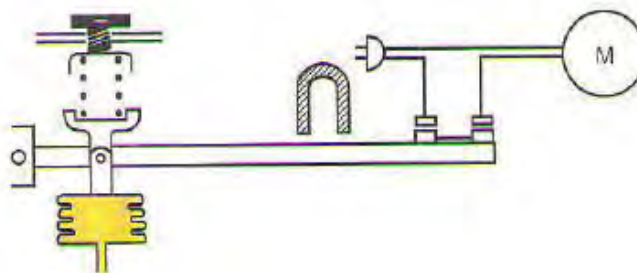
.

**Konstruksi Mekanisasi Thermostat**

Berbagai mekanisasi digunakan pada thermostat tipe tekanan gas (*vapor pressure thermostat*). Dalam hal ini, aksi buka tutup kontak harus berjalan dengan sangat cepat. Jika buka-tutup kontak berlangsung sangat lambat, maka timbul loncatan bunga api. Loncatan bunga api tersebut akan membuat kontak cepat aus sehingga merusak kualitas kontak listrik yang bagus.

Ada dua cara untuk memeperoleh aksi snap secara cepat. Salah satu caranya diperoleh dengan menerapkan mekanisme toggle. Cara kedua diperoleh melalui penerapan magnet permanen. Gambar 2.3 dan 2.4 memperlihatkan mekanisasi tersebut.

Gambar 2.3 Mekanisme Toggle

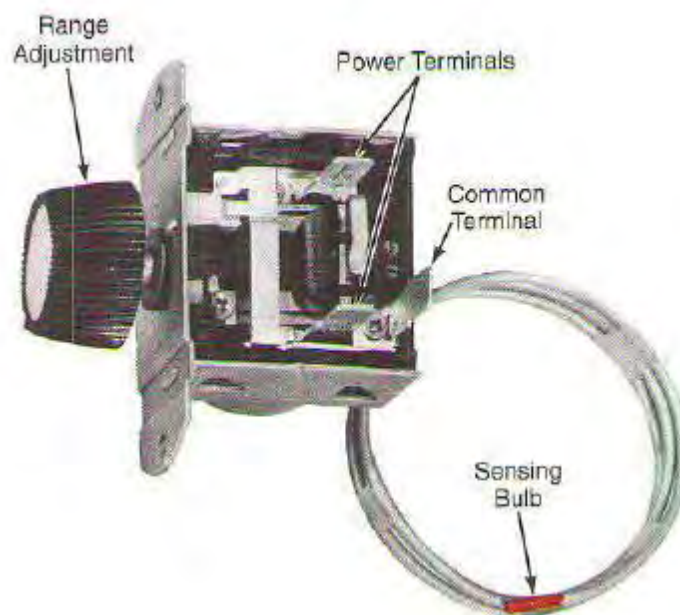
Pada sistem dengan mekanisme toggle, "Fulcrum point" menerima beberapa beberapa tekanan, sehingga cenderung saling menekan. Jika sensing bulb menjadi hangat, maka bellow mengembang. Toggle point akan bergerak seketika ke bawah melalui centre point. Gerakan ini akan menutup kontak listriknya.

Jika sensing bulb menjadi dingin dan bellow kembali menyusut, maka toggle point akan seketika bergerak dengan cepat ke posisi atas. Gerakan ini kana menutup kontak listriknya. Mur pengatur (*screw adjustment*) digunakan untuk mengatur tekanan pada fulcrum point. Menaikkan tekanan fulcrum point berarti memperpanjang waktu kerja.

Gambar 2.4 Mekanisme dengan Magnet Permanen

Gambar 2.4 memperlihatkan aksi snap dengan bantuan magnet permanen. Batang pemegang kontak listrik terbuat dari bahanferomagnetik (besi). Magnet permanen menarik bahan feromagnetik tersebut. Tekanan yang diberikan oleh bellow cenderung menutup kontak listriknya. Efek magnetik akan meningkat jika batang besi mendekati magnet permanennya. Hal ini menyebabkan aksi snap menutup kontak listrik berlangsung dengan sangat cepat.

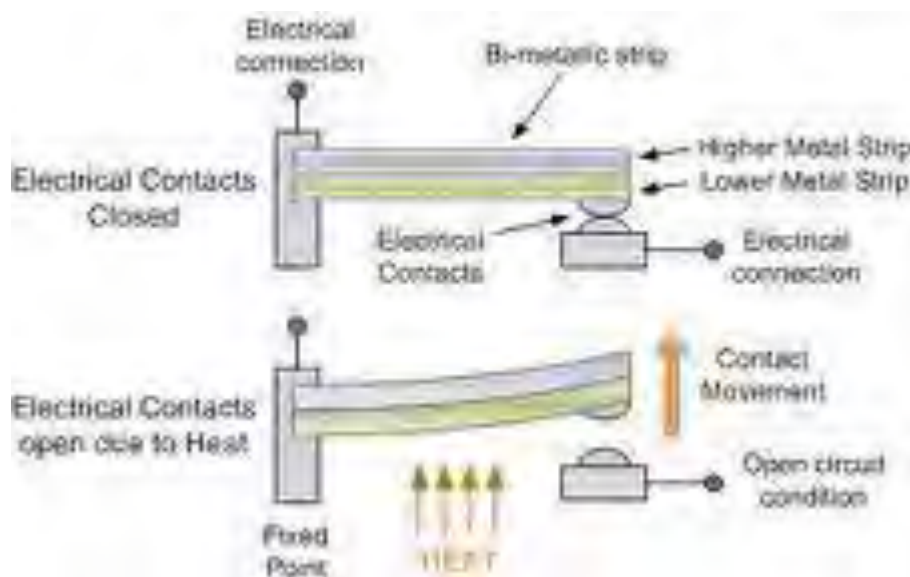
Jika elemen pendeteksi suhu  menjadi dingin dan bellow menyusut kembali, membuat batang besi pembawa kontak menjauh dari magnet permanen. Hal ini membuat aksi pembukaan kontak secara cepat pula.

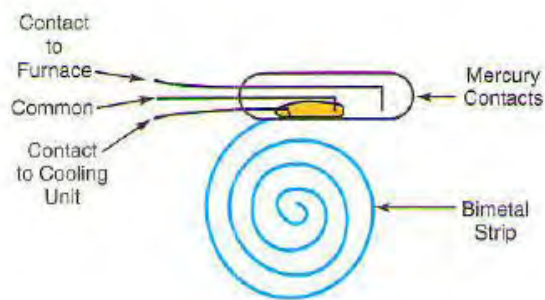
Dengan aksi ini, maka running interval dapat dibuat lebih pendek dengan mengatur posisi magnet permanen menjauh dari batang besi pembawa kontak. Atau membuat running interval menjadi lebih lama dengan mengatur posisi magnet lebih dekat dengan batang besi.

Tipikal vapor proessure motor control diperlihatkan dalam Gambar 2.5. Sistem kontrol ini menggunakan magnetic snap action. Sensing bulb terdapat pada ujung akhir koil pipa kapiler. Sistem ini juga dilengkapi dengan range control untuk mengatur suhu kabinet.

Gambar 2.5 Thermostat berbasis Vapor Pressure control

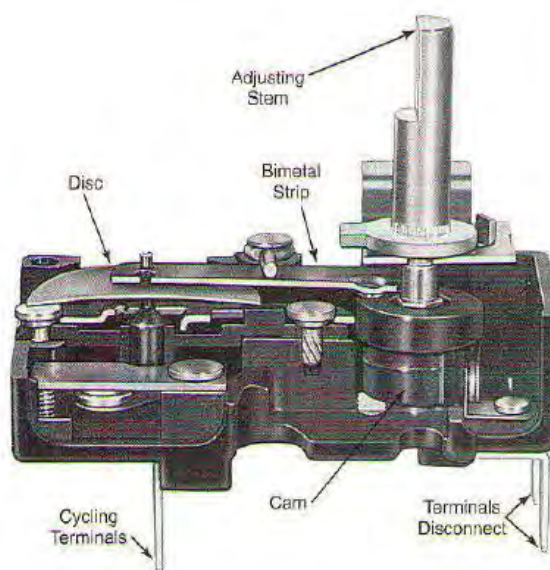
**Prinsip Pengaturan Suhu Berbasis Bimetal**

Upaya pertama yang dilakukan pada pengontrolan proses pemanasan ruang secara otomatik adalah pengaturan suhu udara ruang dengan menggunakan piranti control berbasis elektromekanikal yaitu pelat bimetal (*bimetallic strip*).

Piranti pengatur suhu berbasis strip bimetal terdiri dari susunan dua logam berbeda jenis yang ditempelkan menjadi satu. Logam yang digunakan pada strip mimetal biasanya terbuat dari baja dan tembaga. Tembaga memiliki koefisien muai panjang lebih besar dibandingkan dengan baja. Hal ini berarti tembaga akan memuai lebih panjang dibandingkan dengan baja. Hal membuat strip bimetal melengkung ketika suhunya meningkat. Aksi gerak melengkung ini digunakan untuk membuka dan menutup kontak listrik.

Gambar 2.6 Bimetal Strip

Kemudian piranti control berikutnya yang dikembangkan adalah mercury thermometer column yang dilengkapi dengan kontak yang diletakkan di sisi bawah (suhu rendah) dan sepasang kontak lainnya di sisi atas (suhu tinggi). Peningkatan suhu menyebabkan mercury bergerak naik dan menutup kontak sakelarnya. Pada sistem refrigerasi digunakan thermostat untuk mengatur siklus kerja kompresor. Disamping itu digunakan thermostatic expansion valve dan automatic expansion valve untuk mengatur jumlah refrigerant.

Gambar 2.7 Thermostat berbasis Mercury Bimetal

**Konstruksi Mekanisme Thermostatik Control berbasis Bimetal**

Thermostat berbasis bimetal lebih sering digunakan pada unit tata udara dibandingkan pada unit refrijerasi. Konstruksi thermostat berbasis bimetal diperlihatkan dalam Gambar 2.8. Thermostat ini menggunakan cakram bimetal untuk keperluan aksi snap cepat. Konstruksi cakram bimetal ini akan membuat gerakan cekungan ke satu arah pada saat dingin. Jika kondisinya panas, cakram bimetal akan kembali ke bentuk semula dengan lebih cepat. Penggunaan cakram bimetal memiliki dua fungsi, yaitu memberikan pengaturan kalibrasi dan menyediakan perbedaan suhu lebih efektif dibandingkan strip bimetal.

Gambar 2.8 Thermostat berbasis Cakram Bimetal

**Prinsip Pengaturan Suhu dengan Solid State**

Kontrol elektronik memiliki beberapa keuntungan dibandingkan sistem lainnya. Elektronik kontrol menjadi sangat kompak dan reliablitasnya lebih tinggi, respon lebih cepat dan tidak ada bagian yang bergerak. Kontrol elektronik dapat diidentifikasi melalui penggunaan tegangan rendah antara 5 VDC hingga 15 VDC, sehingga memerlukan step down transformer untuk menurunkan tegangan kerja 220 VAC.

Piranti pendeteksi (*sensing device*) pada pengatur suhu elektronik biasanya terbuat dari bahan semikonduktor yang disebut dengan thermistor. Thermistor adalah sebuah resistor variabel yang nilai resistannya tergantung pada suhu yang diterimanya.

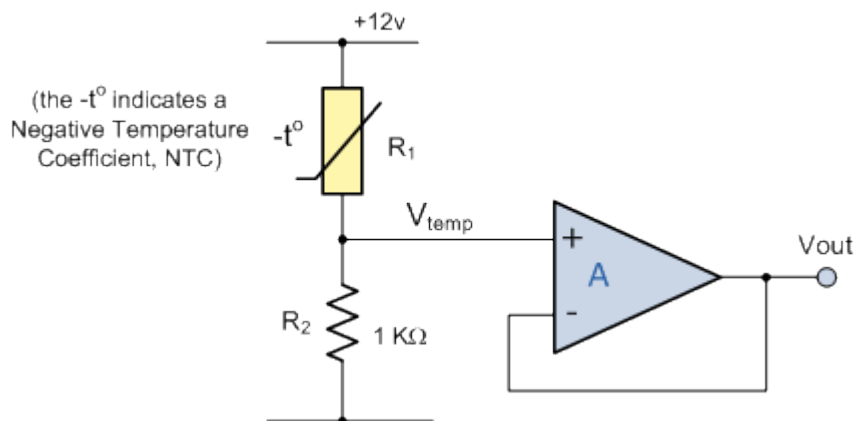
Thermistor merupakan sensor suhu yang banyak pemakainya. Namanya thermistor diambil dari kombinasi kata THERM-ally sensitive res-ISTOR. Thermistor merupakan jenis resistor yang akan berubah resistansinya akibat adanya perubahan suhu yang dirasakannya.

Gambar 2.9 Thermistor

Thermistor biasanya terbuat dari bahan keramic seperti oksida nikel, mangan atau cobalt yang terbungkus gelas sehingga membuatnya menjadi gampang rusak atau pecah. Kelebihan utama thermistor adalah kecepatan respon terhadap perubahan suhu yang dirasakannya, dan akurasinya. Sebagian besar thermistor yang dipasarkan memiliki koefisiean suhu negatif *(NTC)*, di mana nilai resistannya akan turun jika suhu meningkat, sebagian kecil lainnya memiliki koefisien suhu positif, di mana nilai resistansinya akan naik jika suhunya meningkat.

Thermistor dikonstruksi dari bahan semikonduktor yang diolah dengan menggunakan teknologi yang disebut sebagai metal oxide technology seperti manganese, cobalt dan nickel. Bahan semiconductor tersebut biasanya dikemas secara hermetik (kedap udara) dalam bentuk piringan atau bentuk bola agar dapat memberikan respon cepat terhadap perubahan suhu yang dirasakannya.

Thermistor didisain untuk mendetaksi suhu rendah misalnya untuk suhu ruang (sekitar 25$^{o}$C). Seperti halnya resistor, thermistor tersedia di pasaran dengan nilai resistan pada suhu ruang dalam orde puluhan mega-ohm tetapi yang lazim digunakan adalah nilai resistan dalam orde kilo-ohm.

Thermistor merupakan piranti resistif pasif, sehingga diperlukan energi dari luar untuk mengoperasikannya. Jika dialirkan arus listrik pada thermistor, maka memungkinkan memberikan tegangan output yang akan meningkat secara linear sebanding dengan perubahan suhu. Biasanya thermistor dihubungkan seri dengan suatu resistor yang disebut sebagai biasing resistor untuk membentuk rangkaian pembagi tegangan seperti diperlihatkan dalam contoh berikut.

Gambar 2.10 Rangkaian Penguatan Thermistor

**Contoh Kasus**

Sebuah thermistor memiliki resistansi sebesar 10KΩ pada suhu 25°C dan memiliki resistansi sebesar 100Ω pada 100°C. Hitung tegangan drop pada thermistor dan tegangan output yang dapat dihasilkannya (Vout) pada kedua kondisi suhu jika dihubungkan seri denga sebuah resistor R2 = 1kΩ dan tegangan sumber sebesar 12 VDC.

**Solusi:**

Berdasrakan rangkaian penguatan seperti Gambar 2.10, didapat:

Pada suhu 25°C

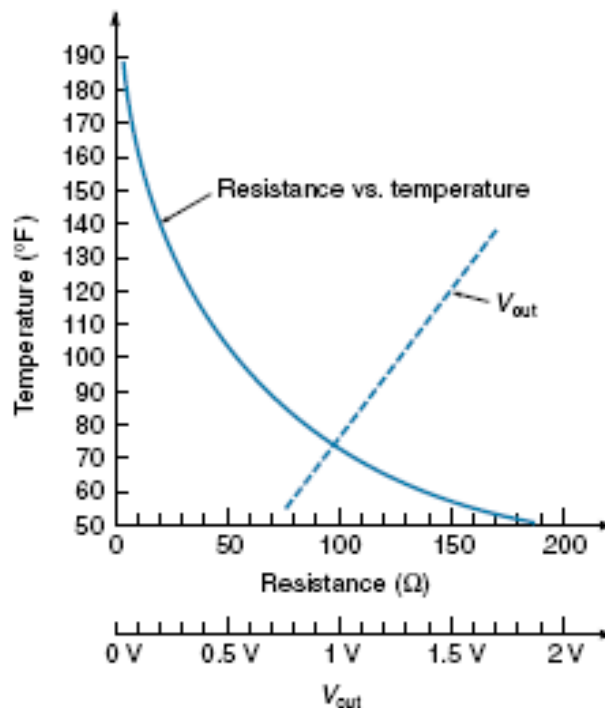
$$Vout = \frac{R_2}{R_1 + R_2} xV = \frac{1000}{10000 + 1000} x12\ VDC = 1{,}09\, VDC$$

Pada suhu 100°C

$$Vout = \frac{R_2}{R_1 + R_2} xV = \frac{1000}{100 + 1000} x12\ VDC = 10{,}09\, VDC$$

Dengan mengganti resistor tetap R2 (dalam contoh sebesar 1kΩ) menjadi sebuah potensiometer maka tegangan output pada saat preset dapat ditentukan sesuai keinginan, misalnya sebesar 5VDC tegangan output pada suhu 60°C dan dengan mengatur ulang potensiometer kalian dapat memperoleh rentang suhu yang lebih luas lagi.

**Lembar Kerja 2:** Rancanglah sebuah eksperimen untuk menginvestigasi performasi thermistor, seperti gambar 2.10. Ingat paparan yang kalian sampaikan pada saat presentasi hasil kerja kalian harus meliputi apa? Bagaimana? Dan Mengapa? Terkait dengan permasalahan thermistor, instalasi dan aplikasinya.

Thermistoradalah two-terminal device yang berubah nilai resistance terhadap perubahan suhu. Thermistor terbuat dari bahan semikonduktor. Thermistor bersifat nonlinear; jadi, tidak dapat digunakan untuk pengukuran suhu yang akurat. Kebanyakan thermistors memiliki negative temperature coefficient.

Gambar 2.11 Kurva Thermistor

## 2. Pemeriksaan Thermostat

Pemeriksaan kondisi operasi suatu piranti kontrol atau menguji fungsi dan performansi suatu piranti kontrol menyiratkan adanya penggunaan instrument atau

alat ukur untuk mendapatkan data pengukuran disamping pemeriksaan secara visual yang mudah dilakukan.

Metoda yang digunakan untuk menguji fungsi dan performasi suatu piranti kontrol suhu dan tekanan yang beroperasi secara elektromekanik (sakelar otomatik berbasis suhu dan tekanan) difokuskan pada kualitas kontak sakelar pada saat non aktif dan pada saat aktif. Hasil pemeriksaan harus dibandingkan dengan data yang relevan, khususnya spesifikasi dari pabrikannya. Pemeriksaan meliputi pemeriksaan visual, pemeriksaan kontinuitas, dan pemeriksaan tahanan isolasi.

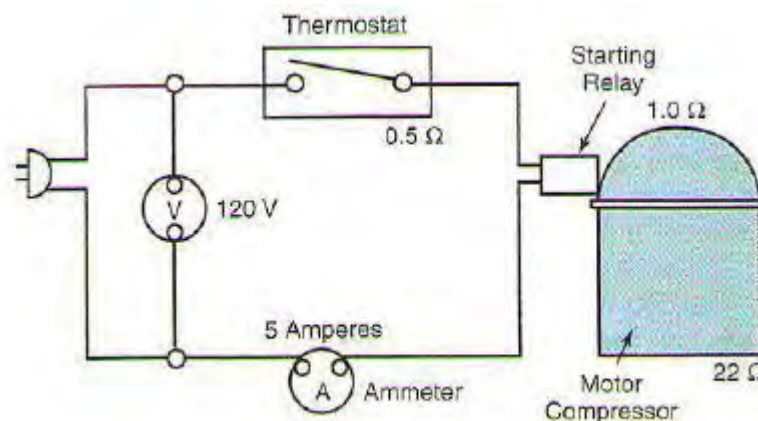
Pemeriksaan secara visual dilakukan dengan mengamati adanya kelainan atau ketidaknormalan fisik thermostat, misalnya adanya bagian patah atau bocor pada pipa kapiler, terminal kendor atau rusak. Kemudian fungsi sakelar diperiksa dengan memutar knop thermostat, Jika terdengar suara klik berarti kontak thermostat masih berfungsi dengan baik.

Pemeriksaan tahanan isolasi dilakukan dengan menggunakan insulation tester atau megger. Salah satu probe dipasang pada terminal kontak thermostat yang akan diperiksa nilai tahanan isolasi dan ujung lain yang memiliki klip dipasang di rangka peralatan yang terbuat dari logam. Tahanan isolasi terhadap rangka harus lebih besar dari 20 megaohm. Bila nilai tahanan isolasi kurang dari 5 megaohm, berarti isolasi kontak sudah mengalami penurunan kualitas, sehingga dapat meimbulkan bahaya sengatan arus listrik.

Pemeriksaan kontinuitas dilakukan dengan menggunakan ohmmeter. Probe ohmemter diletakkan di kedua terminal thermostat. Untuk keperluan pemeriksaan fungsi thermostat diperlukan bongkahan es. Dengan bongkahan es ini mudah menempatkan kondisi operasi thermostat pada suhu di bawah nol derajat. Untuk itu, bulb thermostat dimasukkan ke dalam tabung yang berisi es dan air, kemudian set control dial temperature pada thermostat pada posisi $0^{o}$C atau $30^{o}$F. Pada kondisi tersebut maka kontak thermostat harus membuka. Setelah beberapa menit, angkat bulb thermostat dari tabung. Jika bulb sudah mulai menjadi lebih hangat kembali maka kontak listrik harus menutup kembali.

Untuk pemeriksaan lebih lanjut, atur posisi suhu pada $45^oF$ ($7^oC$), dan masukkan kembali bulb ke tabung air es. Pada kondisi ini maka kontak listrik harus terbuka kembali. (Biasanya kontak thermostat mulai membuka pada suhu $46^oF$). Angkat kembali bulb dari tabung, dan tunggu beberapa menit. Kontak listrik harus tertutup. Jika buka-tutup kontak listrik thermostat tidak berjalan dengan lancar, berarti thermostat rusak.

Beberapa jenis gangguan yang terjadi pada suatu thermostat:

Korosi dapat terjadi pada titik kontak thermostat yang menyebabkan sirkit elektrikalnya menjadi buruk. Titik kontak harus bersih dan tidak boleh ada cacat atau aus. Pemeriksaan kualitas titik kontak dapat diketahui dengan mengukur tahanan kontak dengan ohmmeter. Tehanan titik kontak thermostat yang bagus harus lebih kecil dari 0,5 ohm. Jika kalian mengukur tahanan titik kontak thermostat lebih besar dari lima ohm, maka thermostat tersebut harus tidak boleh digunakan. Kontak secara elektrik pada thermostat juga harus kuat dan kokoh. Jika kontak elektrik kendor dapat menimbulkan bunga api yang dapat memicu kebakaran.

Gambar 2.12 Pemeriksaan Tahanan Titik Kontak

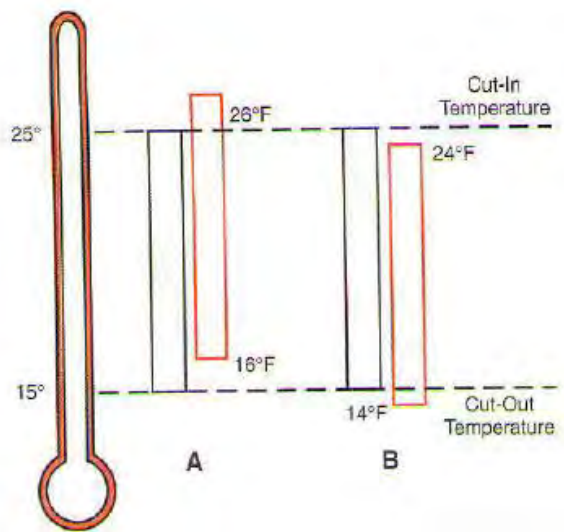
Bulb termostat yang sangat sensitif terhadap suhu diletakkan pada lokasi yang tepat, Elemen sensitif tersebut harus dapat mendeteksi suhu secara akurat di evaporator ataupun di dalam kabinet. Koneksi pada terminal listrik pada thermostat juga harus kuat dan kokoh dan tidak berkarat atau korosi.

Bulb dan bellow dapat kehilangan isi gas. Dalam kondisi normal tekanan gas di dalam bellow dapat mencapai 75 psi. Disamping itu, kadangkala control bulb tidak terpasang dengan kuat di koil evaporator. Dalam kondisi ini memerlukan perubahan suhu yang lebih besar sebelum thermostat dapat melakukan *cut in* atau *cut out*. Oleh karena itu control bulb harus terpasang dengan kuat pada koil evaporator. Pada umumnya evaporator dilengkapi dengan soket metal untuk memasang control bulb dengan kuat.

Jika pemeriksaan dilakukan pada kondisi operasi, misalnya kalian harus memeriksa kondisi operasi thermostat pada sebuah freezer. Maka yang perlu kalian ketahui adalah nilai pengaturan differentialnya. Suhu freezer lebih rendah dari refrijerator, dan setting differential untuk freezer sedikit lebih rendah dibandingkan refrijerator, yaitu 10$^{o}$F hingga 12$^{o}$F atau 5,5$^{o}$C sampai 6,6$^{o}$C.

### 3. Pengaturan Range dan Differential

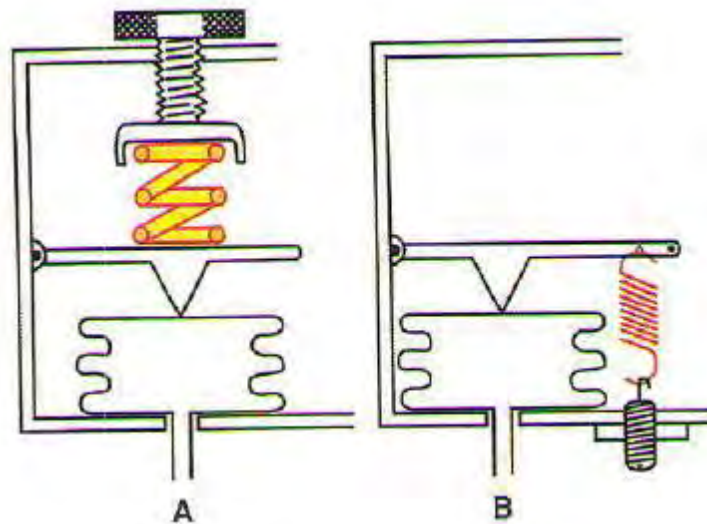
Pengaturan range (*range adjustment*) disediakan untuk memastikan suhu atau tekanan pada kondisi minimum atau maksimum secara tepat. Sebagai contoh, pengaturan range akan menjaga refrijerator atau freezer tetap dalam kondisi tertentu sesuai keinginan. Hal ini berlaku juga untuk unit tata udara. Pengaturan range akan mempertahankan ruang yang dikondisi tetap berada dalam suhu yang tepat sesuai keinginan.

Menjadi satu hal yang sulit dilakukan bila kalian harus menjaga suatu peralatan selalu berada pada suhu atau tekanan tertentu. Misalnya 1,3$^{o}$C atau 150,2 psi. Oleh karena itu mengapa penggunaan fasilitas pengaturan range ini menjadi amat penting.

Gambar 2.13 Pengaturan Range Suhu Thermostat

Contoh kasus pengaturan range suhu diperlihatkan dalam Gambar 2.14. Dari gambar dapat diketahui unit cut in ketika evaporator mencapai suhu 25$^{o}$F (-3,9$^{o}$C) dan cut out pada suhu 15$^{o}$F (-9,5$^{o}$C). Untuk membuat beroperasi pada suhu yang lebih tinggi, maka pengaturan range harus diubah, sehingga cut out berlangsung pada suhu evaporator 16$^{o}$F (-8,9$^{o}$C) dan cut in pada suhu 26$^{o}$F (-3,3$^{o}$C).

Pada kasus ini, suhu menjadi lebih tinggi, tetapi beda suhu antara titik batas atas dan batas bawah tidak berubah. Jarak antara cut in dan cut out tetap 10$^{o}$F (5,6$^{o}$C). Pengaturan baru hanya berdampak sedikit pada running time-nya

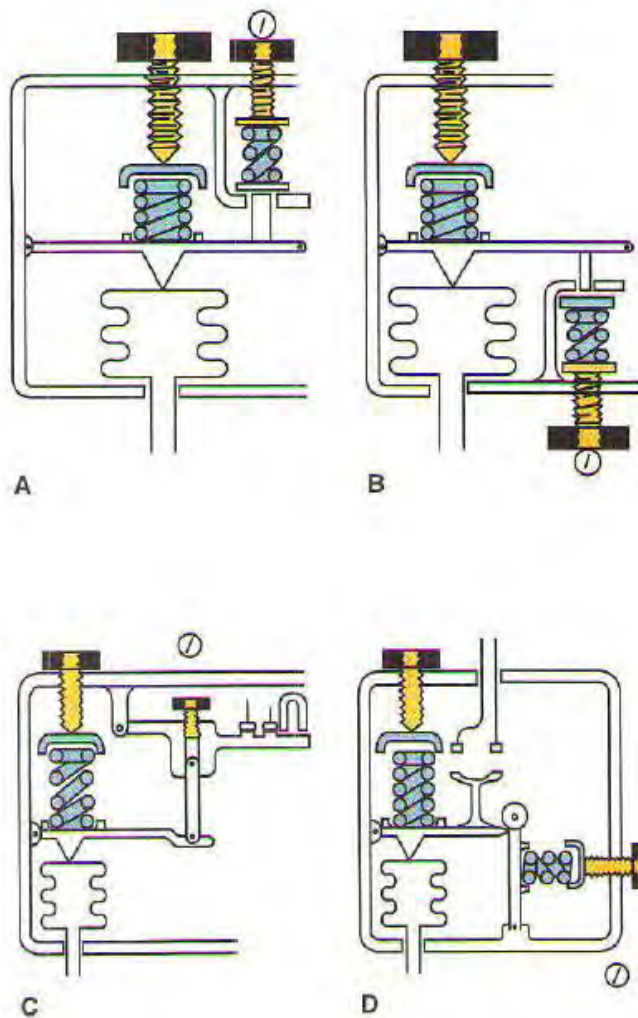
Mekanisme Range Adjustment

Mekanisme range adjustment mudah dipahami. Dalam hal ini ada gaya tekan yang dapat diatur tekanannya melawan bellow atau diafragma. Atau yang biasa digunakan adalah pegas spiral yang dilengkapi dengan mur pengatur. Memutar mur berarti mengubah tekanan atau tegangan pegas. Pegas menekan atau menarik langsung bellow atau diafragma, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.14

Gambar 2.14 Mekanisme range Adjustment

**Pengaturan Differential Adjusment**

Differential adjusment mengontrol beda suhu antara setingan cut-in dan cut-out. Differential adjustment dibangun di dalam mekanisme pengaturan suhu. Jika range adjustment dapat dilakukan oleh operator atau penggunanya, maka differential adjustment hanya boleh diubah setingannya oleh teknisi yang memahami mekanisme differential adjustment.

Jika evaporator di set cut-in pada suhu 25$^o$F (-3,9$^o$C) dan cut-out pada suhu 15$^o$F (-9,5$^o$C), maka beda suhu atau perbedaan suhu antara kedua titik suhu adalah 10$^o$F (5,6$^o$C). Jika differential atau jarak suhu diubah, maka pengaturan range juga berubah. Jika hanya pengaturan range yang diubah, maka pengaturan differential tidak berubah.

Thermostat yang digunakan pada sistem dengan pipa kapiler, maka pengaturan differenrialnya harus cukup besar untuk memberi kesempatan sistemnya mencapai equilibrium (tekanan tinggi sama dengan tekanan rendah). Lazimnya pengaturan differential untuk refrijerator 14$^o$F (8$^o$C) dan untuk freezer 11$^o$F (6$^o$C).

Gambar 2.15 Mekanisme Pengaturan differential

**Mekanisme Differential Adjustment**

Dua tipe pengaturan differential menggunakan pegas yang berdampak langsung pada pergerakan bellow. Dampaknya dapat diatur sebelum titik kontsk listrik cut-in atau cut-out. Gambar 2.15 memperlihatkan mekanisme pengaturan differential. Gambar 2.15 A adalah cut-in differential. Gambar 2.15 B adalah cut-out differential. Gambar 2.15 C adalah Cut-in differential.  Tipe kempat pengaturan differential berdampak pada cut-in dan cut-out. Gambar 2.15 D.

## C. Kegiatan Belajar 3
## Memeriksa Sistem dan Rangkaian Pengontrolan Suhu

Saat ini rumah tinggal modern, perkantoran, dan tempat kerja sudah lazim dijaga kenyamanan da kesehatannya dengan menerapkan sistem tata udara. Sistem tata udara mengontrol suhu dan kelembaban udara. Pergerakan, kebersihan dan strerilasasi udara secara otomatik. Ada dua hal penting terkait dengan pengembangan yang telah dilakukan pada sistem pemanasan ruang (*heating system*) dan pendinginan ruang (*cooling system*), yaitu:

- Pengoperasan sistem dengan menerapkan sistem kontrol otomatik
- Electronic circuit control dan pengoperasian sistem kontrol otomatik

### 1. Perangkat Kontrol (*Control Device*)

Kontrol merupakan perangkat yang mengoperasikan atau mengatur sistem elektrikal dan sistem mekanikal. Sistem tersebut digunakan pada sistem pendinginan (*cooling system*), sistem pemanasan (*heating system*), sistem penambahan kelembaban udara (*humidifying system*), dan sistem pengurangan kelembaban udara (*humidifying system*). Perangkat kontrol juga digunakan untuk sistem pengapian dan sistem pembakaran. Biasanya, setiap piranti kontrol didisain untuk mampu merespon suatu kondisi tertentu. Contoh perangkat kontrol adalah perangkat yang dapat mengatur suhu, tekanan, aliran fluida, level likuid, dan operasi berbasis waktu.

Perangkat kontrol tersebut telah dibuat dengan mengembangkan segi keamanan dan segi otomatisasi sistam yang dikontrolnya.

**Pengontrol *(Controller*) dan Sistem Kontrol (*Control System*)**

Seperti telah kalian pelajari pada semester lalu, istilah pengontrol (*controller*) merupakan kelompok atau grup kontrol dan sirkit yang mengoperasikan suatu peralatan secara akurat dan otomatik. Suatu pengontrol dapat mencakupi kontrol

primer (*primary control*), kontrol operasional (*operating control*), dan kontrol limitasi (*limit control*).

Sedangkan istilah sistem kontrol mencakupi pengontrol (*controller*), perkakas yang beroperasi (*operating device*) atau perkakasa (device), dan area yang dikondisikan (*contitioned area*). Beberapa jenis atau tipe sistem kontrol yang lazim digunakan mencakupi:

- Elektrik
- Pnumatik
- Elektronik
- Fluidik
- Atau kombinasi dari sistem kontrol tersebut di atas.

Mekanisme sistem kontrol tersebut di atas dapat menghidupkan (*turned-on*) atau mematikan (*turned-off*) sistem secara otomatik. Mekanisme sistem kontrol tersebut memodulasi atau mengatur operasi tertentu dan sinyal pengkondisi. Mekanisme tersebut interlok dengan perangkat pengaman untuk membatasi kondisi yang tidak diinginkan.

Sistem kontrol pada industri pendingin (*cooling*) dan pemanas (*heating*) digunakan untuk mengoperasikan sistem pemanas ruangan, sistem pengkondisian (tata) udara, dan sistem manajemen energi total. Ada sejumlah operasi kontrol yang diperlukan pada sistem tata udara. Operasi kontrol tersebut meliputi:

- Pengontrolan suhu udara
- Pengontrolan kelembaban udara
- Pengontrolan aliran udara
- Pengontrolan filter udara
- Pengontrolan pencairan bunga es di evaporator (defrost)
- Pengontrolan titik batas dan keamanan.

## 2. Thermostat

Barangali pengontrol yang paling banyak digunakan pada sistem pendinginan dan sistem pemanasan adalah thermostat. Thermostat memiliki operasi kontrol. Pengontrol jenis ini mampu menjalankan (start) dan menghentikan (stop) sistem tersebut jika kondisi suhu yang diinginkan (preset) telah dicapai.

Beberapa thermostat tidak beroperasi secara on-off melainkan memodulasi nilai suhu dengan efek menaikkan atau menurunkan nilai suhu.

### Tipe Thermostat

Ada banyak tipe thermostat yang dapat dijumpai di pasaran untuk keperluan pengontrolan sistem pendingin dan sistem pemanas udara. Pada dasarnya thermostat dapat dibedakan dalam dua kelompok, yaitu:

- Heating thermostat,
- Cooling thermostat.

Pada prinsipnya thermostat tersebut dapat dikombinasikan dalam satu unit yang disebut heating-cooling thermostat. Beberapa kombinasi thermostat dapat dibalik operasinya secara otomatik, beberapa tipe lain, harus di ubah operasinya melalui sakelar manual.

Disamping itu, saat ini sudah dikembangkan programmable thermostat. Programmable thermostat memiliki mikroprosesor yang berfungsi sebagai *clock mecanism*. Microprosesor diprogram untuk merubah setting operasi on-off untuk operasi malam hari berbeda dengan operasi siang hari. Kebanyakan unit programmable thermostat telah memiliki preset program, tetapi operator masih dapat memodifikasi program tersebut sesuai suhu yang diinginkan pada waktu berbeda atau hari dan minggu yang berbeda.

Furnace listrik otomatik atau peralatan pemanasan lainnya dikontrol oleh perangkat keamanan. Perangkat  tersebut akan mematikan sistem (off) jika timbul operasi yang tidak normal. Perangkat tersebut bekerja secara elektrikal yang beroperasi berbasis suhu, tekanan dan waktu.

Rele sering digunakan pada sistem kontrol otomatik, karena dapat mengontrol suatu perangkat yang bekerja pada tegangan penuh (220 VAC) dengan sinyal tegangan rendah (24 VAC). Rele juga dapat digunakan sebagai perangkat sinyal interlok untuk operasi keamanan.

Sistem pemanas dan sistem pendingin menggunakan room thermostat. Sistem pemanasan ruang ada yang menggunakan bonnet safety thermostat. Bonet safety thermostat akan mematikan sistem secara otomatik jika plenum chamber mengalami panas berlebihan (*overheat*). Jika ruangan tersebut meghendaki adanya pengontrolan kelembaban udara secara otomatik, maka dapat digunakan humidistat.

Pembakar berbahan bakar minyak (*oil burner*) seringkali juga menggunakan stack thermostat. Thermostat tersebut akan mematikan (shut off) burner jika stack temperature tidak naik naik beberapa detik kemudian setelah oil burner diaktifkan.

Pressurestat yang digunakan pada sistem boiler akan mematikan sistem tersebut jika tekanan uap meningkat ke titik yang membahayakan. Setiap sistem telah dilengkapi dengan perangkat spesial yang bekerja secara otomatik.

Di pasaran tersedia tiga tipe heating thermostat, yaitu:

- Thermostat yang beoperasi secara elektrik
- Thermostat yang bekerja secara pnumatik
- Thermostat yang bekerja secara kombinasi elektrik dan pnumatik.

Beberapa thermostat jenis baru, menggunakan perangkat berbasis solid-state. Thermostat tersebut menggunakan triac, transistor, dan amplifier yang digunakan untuk mengontrol fungsi suatu sistem, seperti:

- Sirkit daya,
- Aliran udara‟
- Aliran air,
- Aliran uap‟
- Operasi damper.

Perangkat kontrol berbasis solid-state memberikan operasi paling baik dengan efisiensi tinggi pada suatu sistem. Perangkat ini dapat menampilkan seluruh variabel yang ada pada suatu sistem. Kondisi-kondisi tersebut ditampilkan melalui berbagai instrumen, lampu-lampu tanda, dan recorder. Komponen solid state thermostat biasanya meliputi sebuah thermistor (sebagai sensor suhu), potensiometer (sebagai piranti pengaturan), dan SCR (silicon-controller rectifier).

Ada tersedia berbagai tipe dan model thermostat yang didisain untuk keperluan sistem pendinginan dan sistem pemanasan, yang dilihat dari berbagai segi, yaitu:

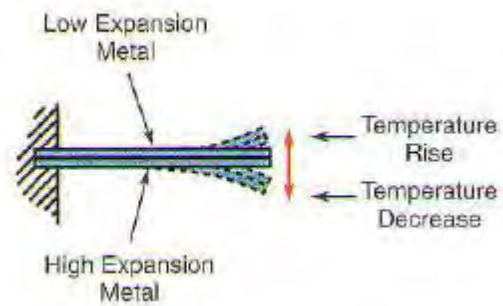
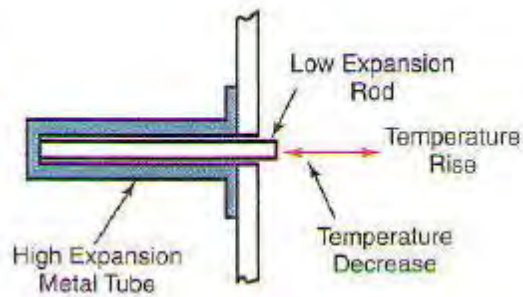
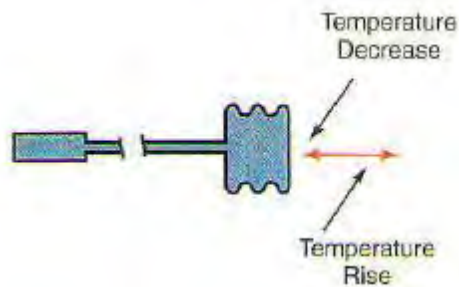
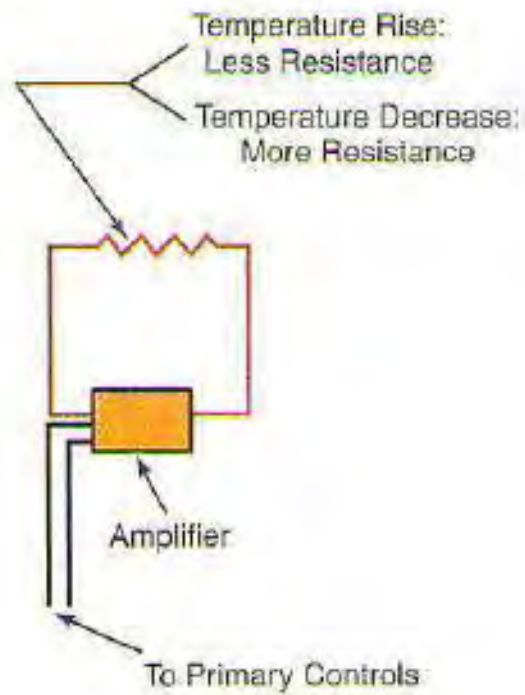
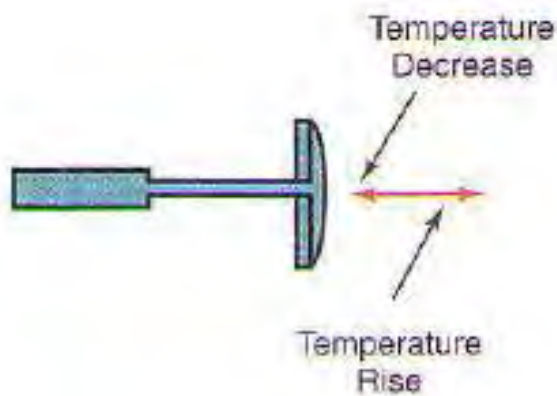
- Tegangan:
  - Tipe tegangan rendah : 24 V
  - Tipe tegangan jala-jala : 220V, 120/240 V
- Titik Kontak
  - SPST
  - SPDT
- Selector Switch:
  - None
  - Winter/Summer
  - Heat/fan
  - Heat on/heat off
- Thermostat yang dilengkapi dengan heat anticipator

Operasi Thermostat

Perangkat utama (primer) pada thermostat adalah komponen yang mampu beraksi terhadap perubahan suhu. Ada beberapa tipe perangkat yang lazim digunakan, yaitu:

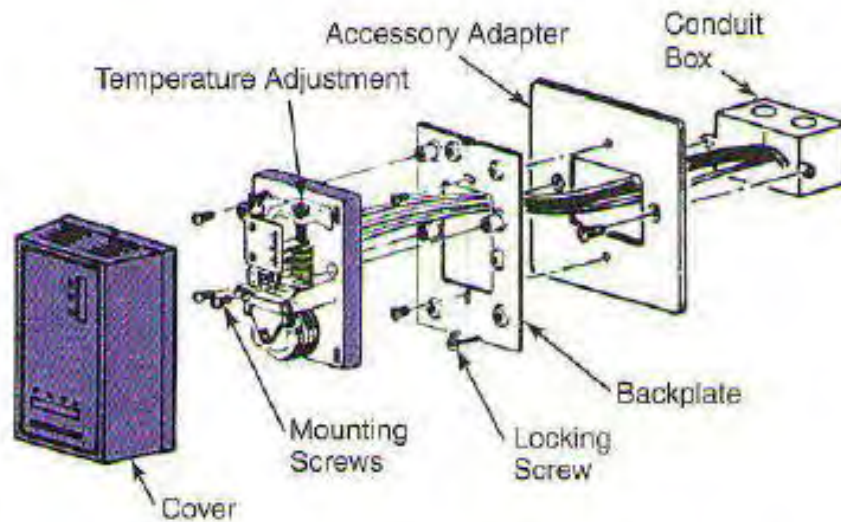
  - Bimetal strip
  - Rod and tube

- Bellow atau diafragma
- Electrical resistance
- Hydraulic

Gambar-gambar berikut memperlihatkan kelima tipe thermostat tersebut.

Gambar 3.1 Bimetal Strip: Paduan dua logam yang memiliki muai panjang berbeda.

Gambar 3.2Rod and Tube: memiliki muai panjang berbeda

Gambar 3.3. Bellow atau Diafragma: Gas akan mengembang jika tekanannya naik

Gambar 3.4 Electrical Resistance: nilai resistansi berubah jika suhu berubah

Gambar 3.5 Hidraulic Diafragm: Diafragme bergerak secara hidrolik (100% likuid)

Dilihat dari seumber tegangan yang digunakan, thermostat dibedakan menjadi dua, yaitu:

- Line-voltage thermostat
- Low-voltage thermostat

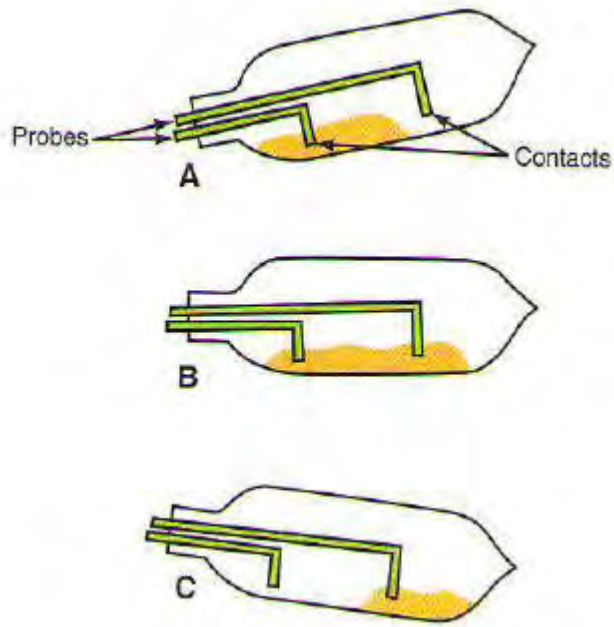
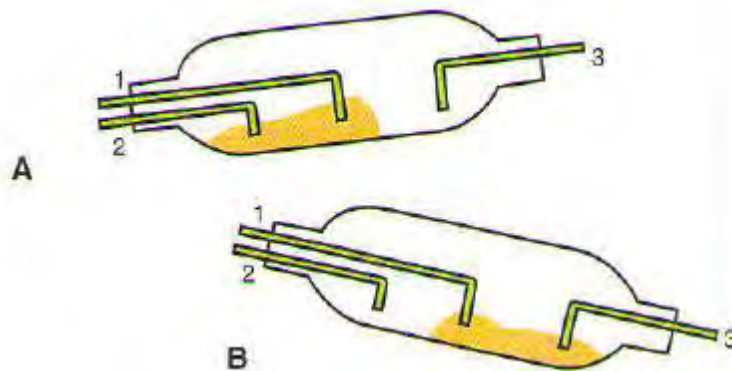
Biasanya, line-voltage thermostat digunakan secara langsung dalam sirkit elekrikalnya, seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.6. Dalam hal ini titik kontak thermostat terhubung langsung dengan aktuator dan menerima tegangan tegangan jala-jala.

Gambar 3.6 Tipikal Line-voltage Thermostat

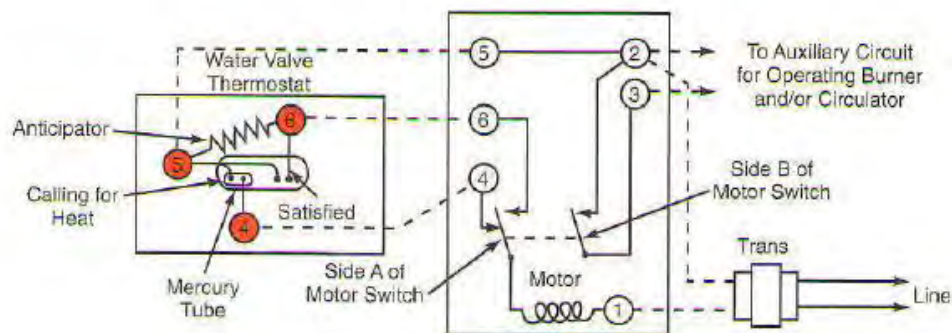
*Low-voltage thermostat* dijumpai pada sirkit tegangan rendah (24 V). Di mana sirkit tegangan rendah tersebut terhubung ke suatu koil rele atau koil solenoida. Titik kontak thermostat jenis ini, akan langsung rusak jika terhubung langsung ke tagnagan jala-jala (220 V).

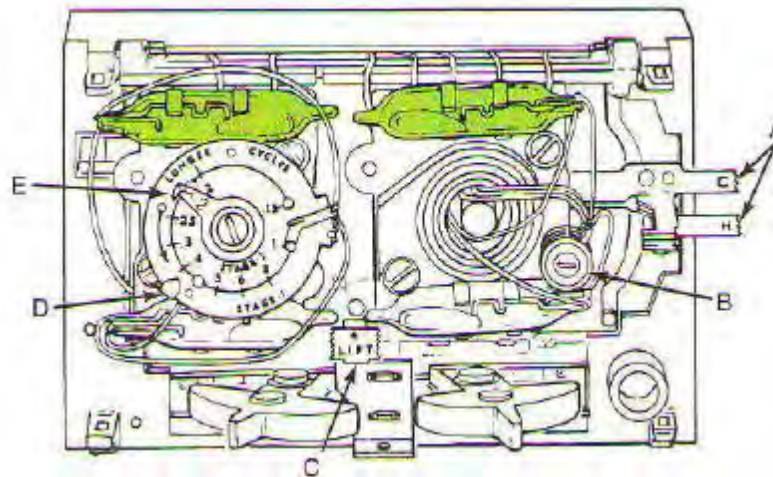
Beberapa jenis thermostat memiliki dua set kontak. Satu set kontak untuk "*pul-in", dan satu "hold-in"*.

*Bimetal strip* biasanya dililit membentuk spiral untuk memperoleh efek panjang yang lebih besar. Piral bimetal menghasilkan pergerakan kontak yang lebih besar pada setiap perubahan suhu. Pengontrol seperti ini didisain untuk mengurangi timbulnya bunga api karena efek *bouncing*. Cara ini juga dapat mengurangi adanya kontak "*walking*" (titik kontak tergeser), yang juga dapat menimbulkan loncatan bunag api.

*Mercury contact* digunakan bersama dengan *bimetal strip*. *Liquid mercury* berbentuk *globe* yang tersimpan di dalam tabung gelas yang tertutup rapat dapat mencegah

debu, kotoran lain dan oksigen masuk ke titik kontak. Tabung gelas dilengkapi dengan dua atau lebih *electrical probe* yang dicolokkan ke dalam tabung. Gambar 3.7 dan 3.8 memperlihatkan tipikal kontak merkuri (*mercury contact*) dengan konfigurasi SPST dan SPDT.

Gambar 3.7 Mercury Contact dengan SPST switch

Gambar 3.8 Mercury Contact dengan SPDT Switch

Gambar 3.9 memperlihatkan contoh aplikasi diagram pengawatan (*wiring diagram*) dari sebuah thermostat berbasis tabung mercury yang digunakan untuk zona katub. Jika kontak nomor 5 dan nomor 4 tertutup, maka zona motor katub terbuka. Jika bimetal thermostat miring, maka kontak nomor 5 dan kontak nomor 6 tertutup. Pada kondisi ini motor katub tertutup.

Gambar 3.9 Diagram Pengawatan Thermostat dengan Motor Penggerak Katub

Bimetal penggerak thermostat dengan empat *mercury switch* diperlihatkan dalam Gambar 3.10. Thermostat seperti ini lazim disebut sebagai staging thermostat control, yang dapat mengatur operasi sistem pendingin (*cooling*) dan sistem pemanas (*heating*). Dua control mercury tube sebelah kiri digunakan untuk pengontrolan proses pemanasan, dua control *mercury tube* sebelah kanan digunakan untuk mengontrol proses pendinginan. A: adalah tuas pengaturan untuk *cooling* dan untuk *heating*. B: *Cooling anticipator*; C: *Tab untuk menaikan cover*. D: *heat anticipator stage 1; E: Heat anticipator stage 2.*

Gambar 3.10 Tipikal Staging Thermostat: untuk Cooling dan Heating Operation

**Line-voltage Thermostat**

Line-voltage thermostat mampu menerima tegangan 110V atau 220 V. Thermostat tersebut didisain untuk mengontrol arus kuat hingga 22A. Banyak pakar (*heating expert*) merekomendasikan penggunaan low-voltage thermostat untuk electric heating system.

Pengawatan line-voltage thermostat harus mengikuti regulasi yang berlaku di tempat kerja. Thermostat dapat memiliki sakelar untuk fan yang terpasang pada sisinya. Fan tersebut memiliki setting on-off otomatik. Posisi off berarti blower tidak bekerja. Posisi on berarti fan beroperasi secara kontinyu. Posisi Auto berarti fan thermostat yang ada di dalam furnace plenum chamber akan mengontrol kerja fan.

Line-voltage thermostat mengoperasikan beban listrik secara langsung. Perangkat kontrol tersebut didisain untuk beroperasi pada tegangan 31 V hingga 300 V dan mengkomsumsi arus maksimum 24 A untuk sirkit non-induktif. Beberapa thermostat didisain pada tegangan 31 V hingga 300V dengan enam pilihan arus berbeda untuk sirkit induktif. Biasanya tersedia pilihan untuk 3, 6, 8, 14, dan 16 A pada tegangan 120V beban penuh. Tersedia untuk berbagai keperluan operasi, misalnya:

- hanya untuk operasi cooling atau operasi heating saja.
- Untuk operasi cooling dan heating

- Double-line break disconnect thermostat
- Double-line break cycling thermostat
- Two-stage thermostat
- Two-circuit thermostat

**Low-voltage Thermostat**

Low-voltage thermostat hanya mampu memikul daya rendah. Salah satu kelebihan low-voltage thermostat tidak mengalami thermostat droop. Pada line-voltage thermostat memiliki masalah dengan electrical power heating pada thermostat, hal ini membuat pembukaan konta terlalu cepat dari semestinta. Suhu pemanasan ekstra yang diterima thermostat disebut Thermostat droop.

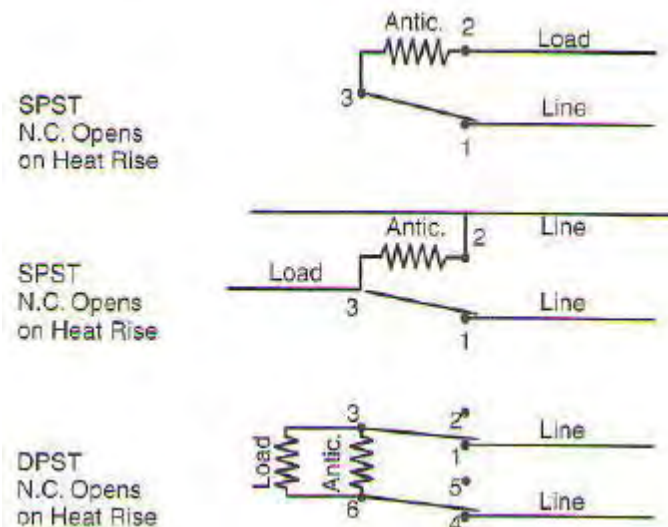
**Contoh:**

Thermostat di set untuk mempertahankan suhu 22$^{o}$C dan suhu ruangannya 20$^{o}$C. Jika suhu ruang naik (heat up), thermostat menjadi lebih panas daripada suhu ruang karena efek electric resistance heating yang ada di thermostat. Thermostat dengan cepat mencapai suhu 22$^{0}$C sehingga melakukan aksi cut-out terlalu cepat, padahal suhu ruang belum mencapai 22$^{o}$C.

**Heat Anticipator**

Satu masalah yang pasti menarik perhatian kalian adalah pengoperasian thermostat pada pemanas ruang. Suhu ruang cenderung naik di atas setting suhu thermostat setelah titik kontak thermostat terbuka dan burner berhenti bekerja.Aksi ini disebut sebagai overshoot. Aksi ini merupakan hasil dari panas residual di dalam furnace.

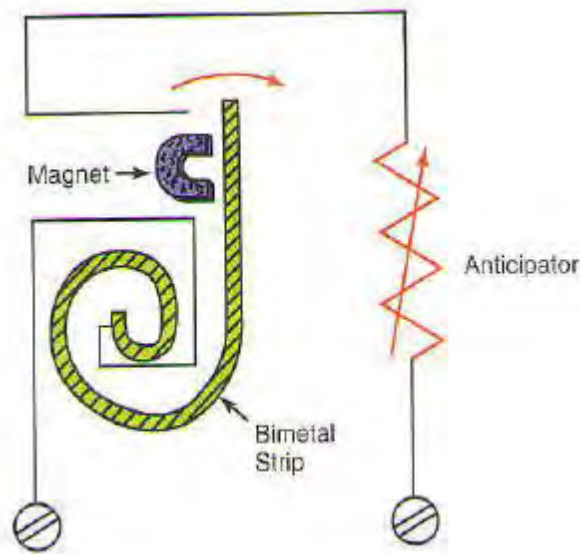
Walaupun beberapa panas dihasilkan oleh sirkit listrik thermostat sendiri, koil pemanas berkapasitas rendah juga digunakan. Koil pemanas tersebut diletakkan di thermostat. Koil pemanas tersebut lazim disebut sebagai heat anticipator. Selama siklus pemanasan (heating) berlangsung thermostat selalu berada pada suhu 1$^{o}$F di atas suhu ruang. Jikathermostat di set pada suhu 74$^{o}$F (23$^{o}$C), thermostat akan

membuka ketika suhu ruang mencapai 73°F. Kemudian, setelah thermostat terbuka, suhu ruang akan naik lagi ke 74°F karena pemanasan yang dilakukan oleh furnace.

Gambar 3.11 Diagram Pengawatan Thermostat dengan Anticipator

Gambar 3.11 memperlihatkan thermostat yang dilengkapi dengan heat anticipator. Heat anticipator dihubungkan secara seri dengan titik kontak. Heating dan cooling anticipator untuk thermostat ada dua jenis, yaitu fixed dan adjustable. Sistem tersebut seringkali digunakan pada low-voltage thermostat dan pada kombinasi heating-cooling thermostat. Kapasitas anticipator berhubungan dengan arus yang mengalir melalui kotak thermostat. Arus ini bervariasi antara 0,15A dan 1,0 A. Hal ini tergantung pada perangkat kontrol yang terhubung ke thermostat.

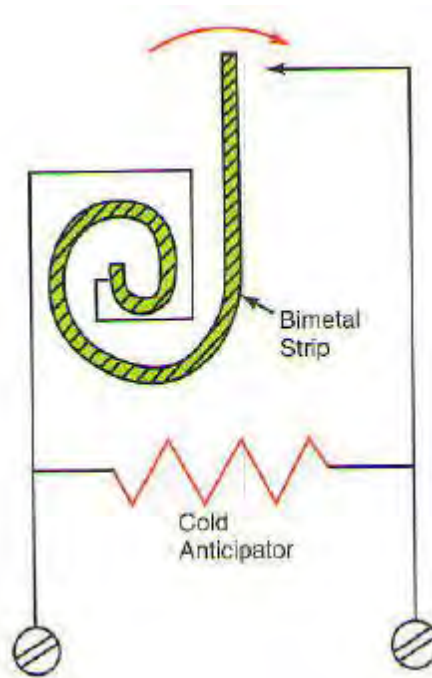
Pada fixed anticipator, arus yang mengalir harus sama dengan control ampere. Pada adjustable anticipator harus diatur agar sama dengan arus sirkit kontrol. Besarnya arus sirkit kontrol dinyatakan pada label yang ada di perangkat kontrolnya. Suatu anticipator yang kapasitasnya lebih tinggi dari pada sirkit kontrol akan memanaskan thermostat lebih lambat, karena heat anticipatornya kurang besar.

Cooling thermostat memiliki heat anticipator yang terhubung paralel dengan titik kontak thermostat. Anticipator menjadi hangat selama siklus berhenti (off) dan akan menutup titik kontak thermostat pada suhu 1°F (0,6°C) lebih tinggi daripada

suhu ruang. Jika perangkat kontrol di-set cut-in pada suhu 78°F (25,6°C), maka perangkat kontrol akan mengaktifkan (on) sistem pada suhu 79°F (26,1°C). Hal ini akan membuat sistem melakukan aksi pendinginan ruang (cooling) sebelum ruangannya menjadi terlalu panas dan lembab.

Gambar 3 .12 Skematik diagram Pengawatan Heating Thermostat

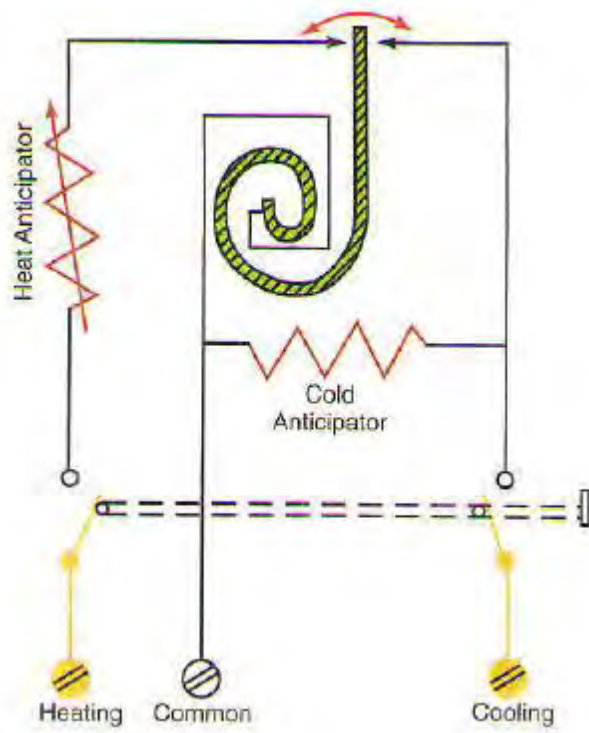
Pada akhir porsi off dari siklus heating, titik kontak thermostat tertutup. Hal ini memberi waktu ke furnace untuk melakukan aksi pemanasan (heat-up) dan memindahkan panas tersebut ke ruangan. Suhu ruangan kemungkinan akan turun sekitar 1°F selama periode start-up. Aksi ini lazim disebut system lag. Suhu cut-in biasanya di-set 1°F di atas suhu terendah yang diinginkan.

**Cooling Thermostat**

Cooling thermostat untuk keperluan kenyamanan (*comfort*) mirip dengan disain heating thermostat, tetapi beroperasi dengan cara berlawanan dengan heating thermostat. Kontak akan terbuka jika ruang menjadi dingin dan tertutup jika ruang menghangat. Pada cooling thermostat dilengkapi dengan elemen pemanas kecil yang terhubung paralel dengan bimetal strip. Elemen tersebut akan menutup thermostat sebelum unit mencapai suhu cut-in ruang.

Gambar 3.13 Skematik Diagram Pengawatan Cooling Thermostat

Cold anticipator menghangatkan bimetal strip selama off cycle. Pada on cycle anticipator akan terhubung singkat.

**Kombinasi Thermostat**

Beberapa thermostat memiliki mekanisme kontrol untuk heating dan cooling. Thermostat ini digunakan pada heat pump atau pada suatu instalasi lainnya yang memiliki sistem pendinginan (*cooling*) dan sistem pemanasan (*heating*). Gambar 3.14 memperlihatkan diagram pengawatan sederhana dari sebuah kombinasi thermostat. Sistem tersebut menggunakan bimetal strip, heat anticipator, dan cold anticipator.

Gambar 3.14 Kombinasi thermostat

## D. Kegiatan Belajar 4

## Menentukan Sistem dan Rangkaian Pengontrolan Operasi Kompresor

Dua macam sistem kontrol untuk mengontrol kerja motor kompresor refrigerasi yang lazim digunakan adalah sistem kontrol berbasis thermal dan sistem kontrol berbasis tekanan. Kedua sistem tersebut selalu digunakan pada unit refrijerasi dan tata udara, baik untuk keperluan domestik, komersial dan industrial. Yang membedakannya terletak pada sistem aktuasinya. Jika pada unit berskala rendah pengontrolan kerja motor kompresor dilakukan secara langsung, maka pada unit berskala besar digunakan cara tidak langsung yaitu menggunakan rele dan kontaktor.

Kontrol berbasis suhu dan berbasis tekanan mempunyai dua sistem pengaturan yaitu pengaturan rentang (*range*) dan pengaturan differential.

Perangkat kontrol untuk pendinginan (*comfort cooling*) memiliki tipe dasar yang sama dengan perangkat kontrol untuk keperluan pemanas ruangan. Perangkat kontrol untuk pendinginan terdiri dari operating control, prymary control, dan limit control.Sebagai operating control adalah thermostat, pressurestat, dan humidistat. Primary control meliputi motor starter dan starting relay. Sedang limit control terdiri dari overload circuit breaker, thermal overload, internal motor overload, rerigerant pressure limit control, dan oli pressure limit control.

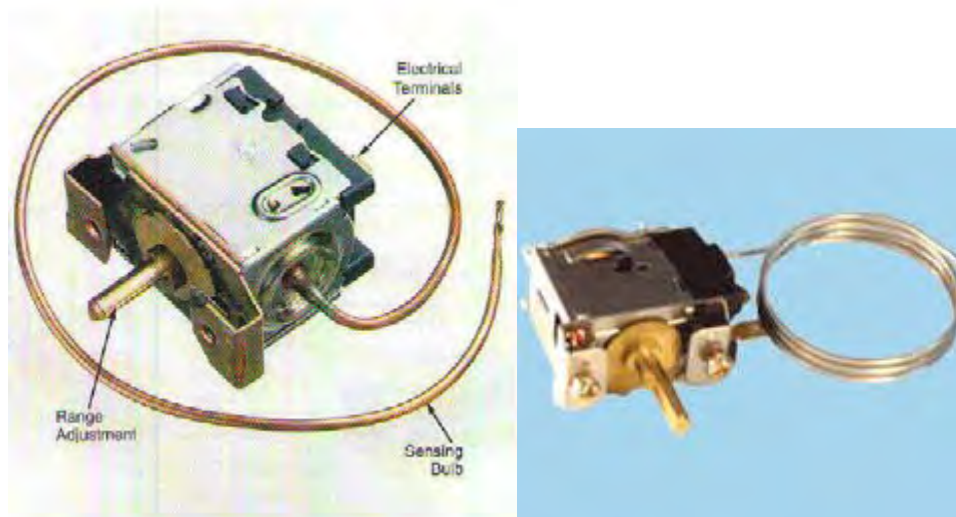
Elemen pendeteksi (*sensing element*) thermostat biasanya diletakkan di bagian saluran udara balik (*return air duct*) pada suatu unit tata udara. Jika udara dingin di bagian tersebut telah mencapai nilai tertentu, maka thermostat akan mengehentikan (stop) motor kompresor pada unit tersebut. Knop pengatur paada range Adjustment digunakan untuk mengatur suhu yang diharapkan. Jika suhu ruangan terlalu dingin, maka running time unit dapat dikurangi.

## 1. Pengontrolan Motor Kompresor Berbasis Suhu

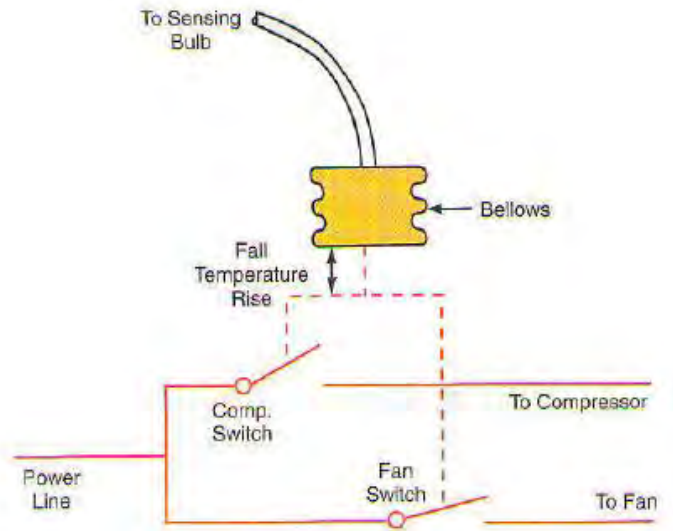
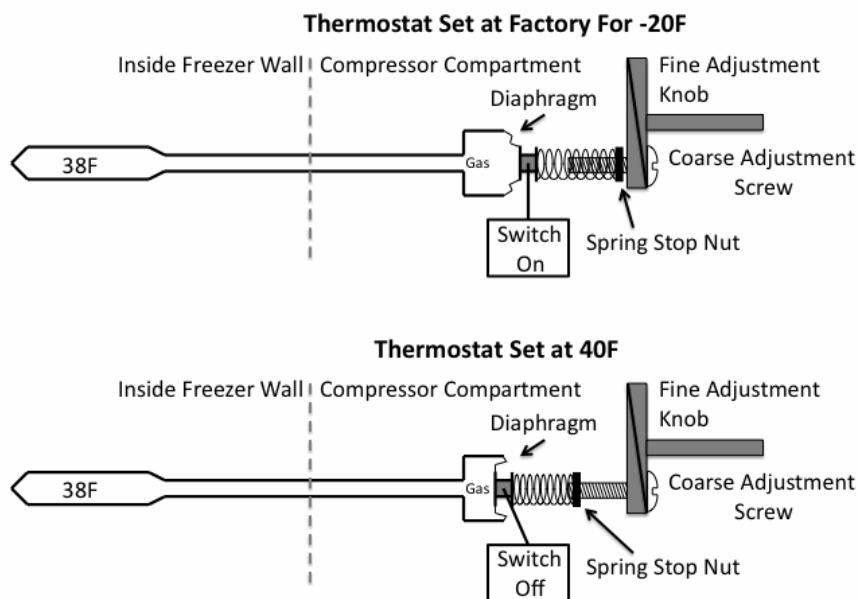
Pengontrolan motor kompresor berbasis suhu biasanya menggunakan motor control thermostat. Motor control thermostat menggunakan elemen pendeteksi suhu. Ada dua disain untuk motor control thermostat, yaitu:

- Untuk mengontrol sistem pendingin ruang (refrijerasi)
- Untuk mnegontrol sistem pemanas ruang(heating)

### Elektromekanik Thermostat

Motor control thermostat dua tingkat diperlihatkan dalam Gambar 4.1. Elemen sensor bereaksi terhadap perubahan suhu pada bagian udara balik. Kenaikan suhu akan menyebabkan fan aktif(cut-in). Kenaikan suhu selanjutnya akan membuat kompresor bekerja (cut-in) Jika suhu udara turun, maka operasi akan berlangsung secara berlawanan. Fan berhenti (turn-off). Gambar 4.2 memperlihatkan diagram skematik yang akan membantu memperjelas operasi sistem kontrol tersebut

Gambar 4.1 Motor control Thermostat

Hampir seluruh peralatan refrigerator, dan freezer untuk keperluan domestik dan komersial berskala kecil menggunakan piranti thermostat elektromekanik untuk mempertahankan suhu konstan di dalam kabinetnya. Thermostat jenis ini oleh pabrikannya telah diatur preset-nya untuk beroperasi pada rentang suhu tertentu,

misalnya ada suatu produk memiliki preset dengan rentang -28°C hingga -6°C atau -20°F hingga 20°F tergantung pada posisi dial sensor diletakkan.

Gambar 4.2 Skematik Kerja Motor control Thermostat

Gambar 4.3 Posisi On/OFF Elektromekanik Thermostat

Gambar 4.4 memperlihatkan tipikal defrost control. Defrost control yang digunakan pada unit refrijerasi dan tata udara berfungsi untuk mengontrol operasi kompresor ketika permukaan koil eveporator terdapat formasi es. Adanya formasi es yang berlebihan di permukaan eveporator dapat menggangu proses transfer panas, dan berarti mengganggu efek pendinginan. Untuk itu diperlukan sistem kontrol yang tepat untuk mencegah terjadinya formasi es di permukaan koil eveporator. Defrost control akan membuka sirkit kontrol jika suhu evaporator sudah mendekati suhu titik beku. Pengaturan suhu beku ini dilakukan oleh pabrikan, jadi tidak perlu pengaturan ulang.

Defrost control terdiri dari single-pole, single throw (SPST) control jika hanya digunakan untuk keperluan defrost. SPST control mengontrol pencairan bunga es di evaporator dengan menghentikan kerja kompresor (off) untuk beberapa waktu setelah sensor mendeteksi suhu formasi es telah tercapai. Jika selama kompresor dimatikan akibat adanya formasi es dan dinginkan juga beroperssinya defrost heater untuk mempercepat pencairan formasi es di eveporator maka harus digunakan single-pole, double-throw (SPDT) control.

Gambar 4.4 Defrost Control

Sistem kontrol ini berlaku untuk unit refrijerasi dan tata udara. Gambar 4.5 memeperlihatkan diagram skematik sistem pengontrolan defrost tanpa defrost heater

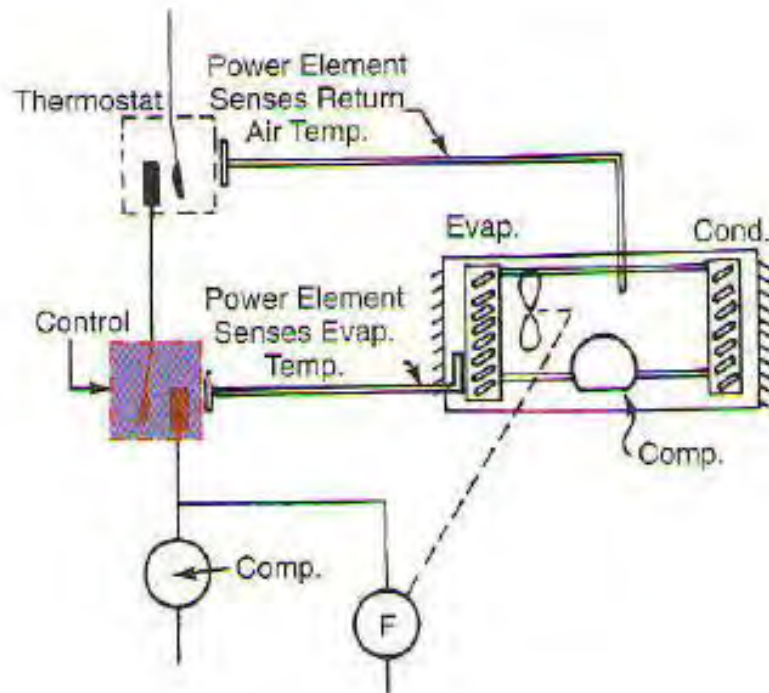
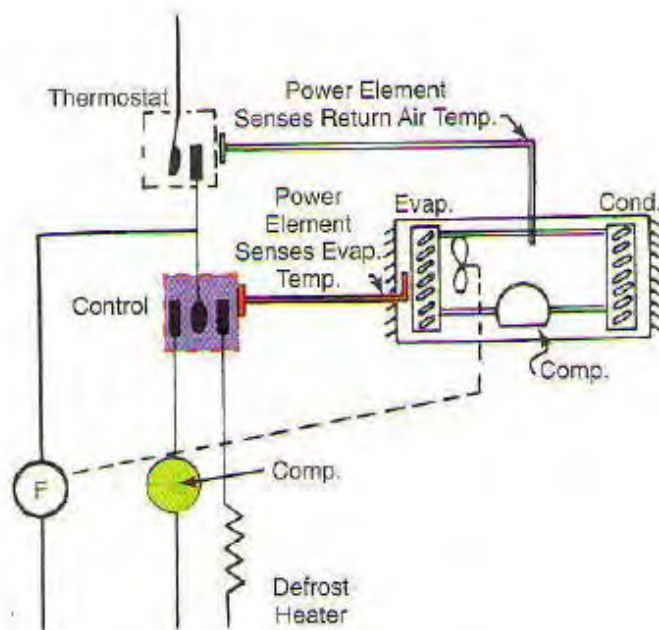
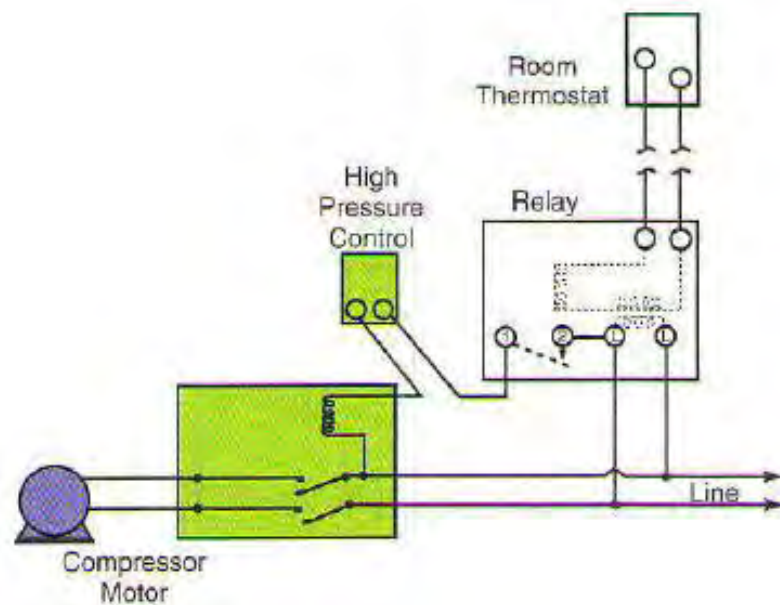
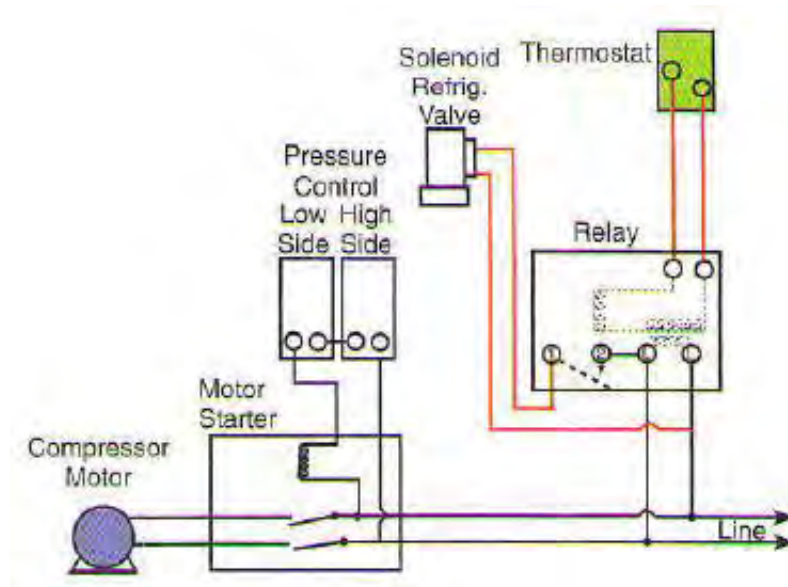
sedang Gambar 4.6 memperlihatkan sistem pengontrolan defrost menggunakan defrost heater

Gambar 4.5 Sistem Defrost Tanpa Defrost heater

Gambar 4.6 Sistem Defrost Dengan Defrost Heater

Diagram skematik dalam Gambar 4.7. merupakan sirkit yang digunakan pada unit pendingin. Sistem tersebut menggunakan thermostat tegangan rendah, dengan dua kabel. Thermostat mengontrol sebuah rele yang akan mengontrol sirkit motor. Jika motor tidak dapat dihubungkan secara langsung ke sistem jala-jala dan perangkat proteksi tekanan akan diletakkan di dalam sistem. Dalam kasus ini high pressure safety cut-out disambung dalam sambungan seri dengan koil starter. Sistem ini akan membuka sirkit jika tekanannya menjadi terlalu tinggi.

Gambar 4.7 Rangkaian Kontrol Motor Kompresor dengan Thermostat

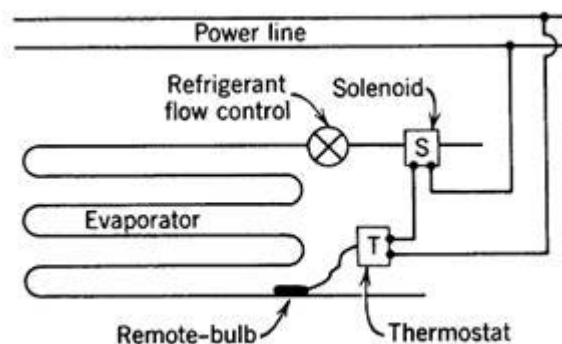
Beberapa siklus sistem komando on berasal dari low-side pressure control. Thermostat mengoperasikan sebuah katub solenoid yang terpasang pada saluran likuid atau saluran hisap (suction). Jika suhu thermostat telah mencukupi, katup solenoid tertutup. Jika tekanan penurunan tekanan rendah telah mencukupi nilai tertentu sirkit motor akan terbuka. Hal ini dilakukan oleh pressure control yang terpasang pada magmetic starter. Gambar 4.8 memperlihatkan sistem tersebut. Kemudian unit akan berhenti (stop). High-side switch juga terpasang pada sistem kontrol ini. Switch tersebut akan menghentikan (stop) motor kompresor jika sisi tekanan tinggi melebihi nilai batas (preset limit) yang sudah ditentukan.

Gambar 4.8 Diagram pengawatan untuk Pengontrolan Kompresor dengan high & low pressure safety

Sistem kontrol yang dijumai pada sistem pendinginan untuk kenyamanan, biasanya terdiri dari:

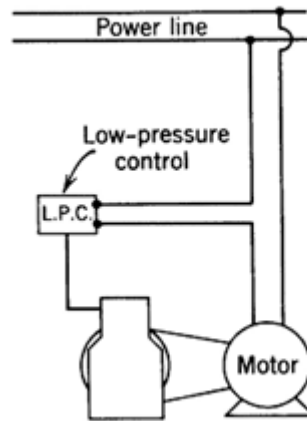
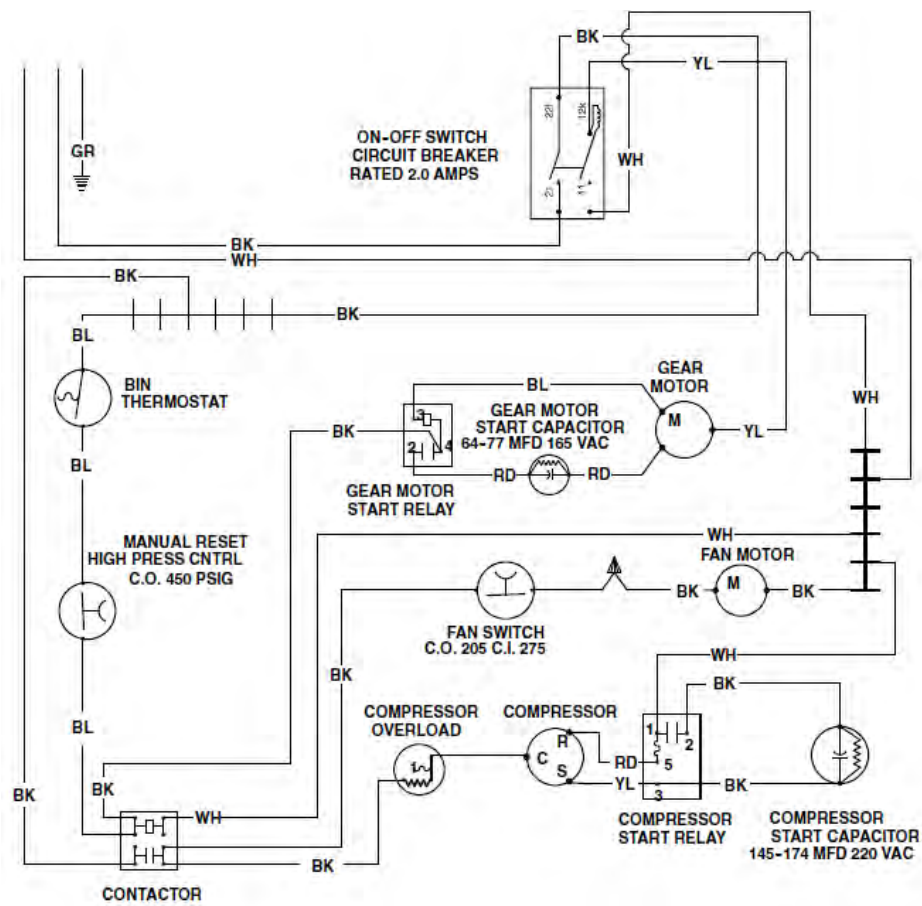
- Thermostat (24 V atau 220V) atau sensor thermistor (one-stage atau two-stage)
- Evaporator icing control (freeze-up control), dua kawat denga tegangan 24 V atau 220V untuk mengontrol damper, katub atau kompresor jika suhu evaporator mencapai 32oF ($0^{o}$C).
- Sequence starting control jika kompresor lebih dari satu (multiple compressor).
- Multicylinder compressor unloading sequencing control

Gambar 4.9 adalah Thermostat mekanik yang dilengkapi dengan dua jenis skala yaitu skala untuk pengaturan Range dan skala untuk pengaturan Differential. Thermostat jenis ini lazim digunakan pada sistem refrigerasi komersial, misalnya display case, dan cold storage. Thermostat tersebut memiliki mekanisme operasi kontak yang kokoh dan  tertutup rapat dengan sehingga bebas debu. Suhu cut out dan cut in dapat diatur secara independen karena adanya pengaturan differential.

Gambar 4.9 Mechnical Thermostat Untuk keperluan Komersial

Gambar 4.10 memperlihatkan tipikal penggunaan thermostat pada unit refrigerasi komersial. Dalam Gambar terlihat katub solenoid (S) dipasang pada saluran refrigeran yang akan masuk ke evaporator sebelum katub ekspansi. Katub solenoid (S) terhubung ke jala-jala tegangan melalui thermostat (T). Proses kerja system ini adalah sebagai berikut: Pada kondisi operasi normal, kontak thermostat tertutup, sehingga solenoid (S) bekerja, refrigerant mengalir masuk ke evaporator melalui katub ekspansi untuk mengatur debitnya. Jika suhu evaporator semakin rendah, suhu remote bulb juga semakin turun. Jika suhu remote bulb turun sampai titik tertentu, sesuai seting thermostat, maka kontak thermostat terbuka, solenoid tidak aktif, aliran ferigeran ke evaporator berhenti, dan proses pendinginan juga berhenti.

Gambar 4.10Skematik Pemasangan Thermostat Control

Pada Gambar 4.11 terlihat motor kompresor terhubung ke jala-jala tegangan satu fasa melalui low pressure control. Hal ini dimaksudkan, bila piranti kontrol (low pressure control) mendeteksi tekanan yang sangat rendah di saluran hisap kompresor, akibat

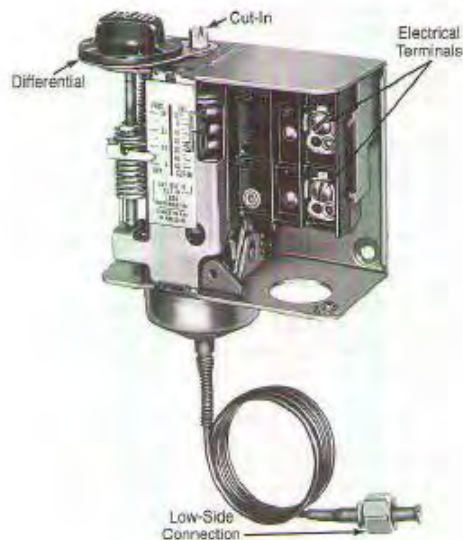
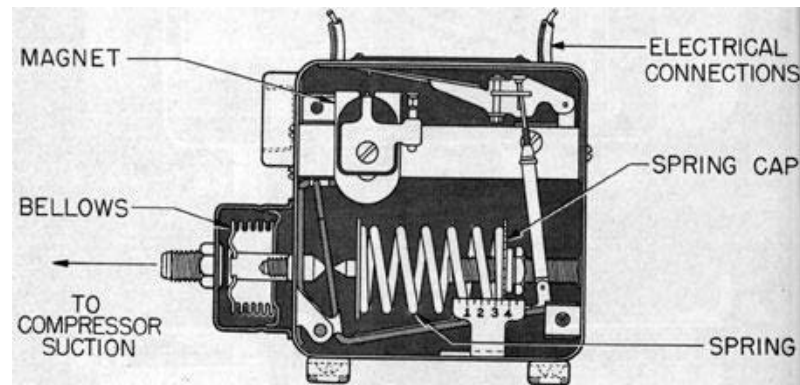
suhu refrigerant yang terlalu rendah, maka kontak low pressure control akan terbuka, sehingga motor kompresor berhenti.

Gambar 4.11Skematik Pemasangan Pressure Control

Gambar 4.12 Diagram Ladder System Control Refrigerasi Komersial

**Diskusi:**

Diskusikan dengan teman sekelompok untuk menginterpretasi diagram ladder sistem kontrol refrijerasi seperti diperlihatkan dalam Gambar 4.12.

## 2. Pengontrolan Motor Kompresor Berbasis Tekanan

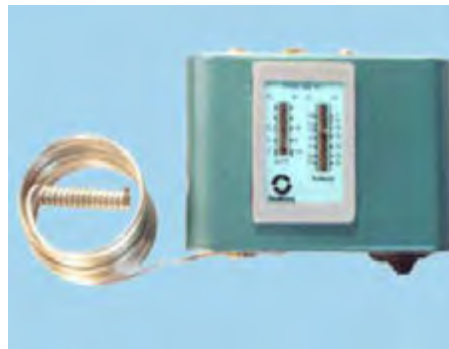
Tekanan kerja pada sisi tekanan rendah di evaporator harus terus dijaga pada level tekanan tertentu untuk memastikan proses eveporasi berlangsung pada tekanan rendah yang benar. Oleh karena itu perlu disediakan sistem kontrol yang dapat mengatur kerja kompresor berbasis perbedaan tekanan kerja di evaporator. Sistem kontrol berbasis tekanan rendah ini lazim digunakan pad unit komersial.

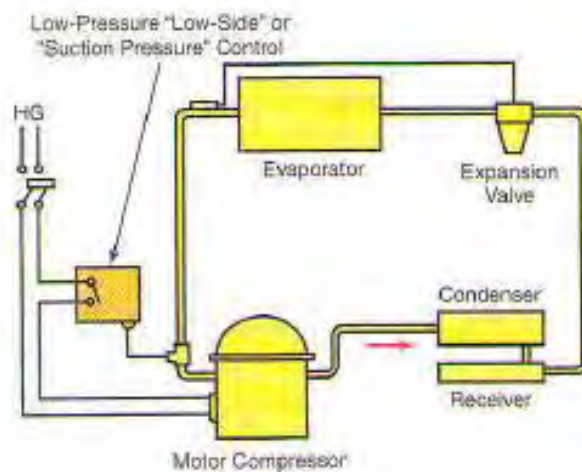
Gambar 4.13 memeprlihatakan tipikal low-pressure control yang beroperasi berbasis bellow (diafragma).

Gambar 4.13Tipikal Low Pressure Switch Tanpa Penutup

Gambar 4.14 Konstruksi Low Pressure Switch dengan Bellow

Pressure motor control beroperasi berdasarkan tekanan evaporator. Jika suhu evaporator naik, maka tekanan rendah pada sisi evaporator akan meningkat sehingga membuat bellow (diafragma) mengembang. Kontak sakelar (switch) tertutup, sehingga motor kompresor bekerja (start-up). Jika suhu dan tekanan di evaporator turun hingga nilaitertentu, bellow akan menyusut kembali. Kontak sakelar terbuka dan motor kompresor berhenti secara otomatis (stop).

Gambar 4.15 Tipikal Pressure Motor Control dengan Cut-out dan Cut-in

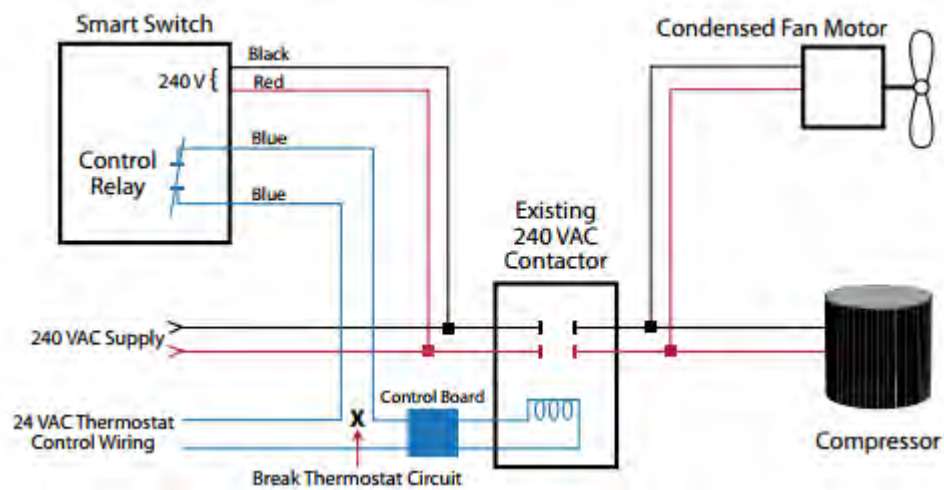
Gambar 4.15 memperlihatkan tipikal pressure motor control yang dilengkapi dengan pengaturan cut-out dan cut-in. Cut-out dan cut-in control diperlukan untuk pengontrolan tekanan berdasarkan pengaturan range dan pengaturan differential.

Pengaturan range dilakukan melalui range adjustment. Jika baut range adjustment diputar berlawanan arah jarum jam maka akan menurunkan titik cut-in dan titik cut-out pada jarak yang sama. Sebaliknya jika baut range adjustment diputar searah jarum jam maka akan menaikkan titik cut-in dan titik cut-out pada jarak yang sama.

Gambar 4.16Skala Pengeturan Range dan Differential

Differential adjustment akan menaikkan cut-out pressure jika baut pengatur differential diputar searah jarum jam. Hal ini akan meningkatkan tekanan pegas pada diafragma, sehingga sulit bagi diafragma untuk mencapai cut-out setting.

Gambar 4.17 Skematik Low-pressure Motor Control

Beberapa model *pressure control* difungsikan sebagai piranti pengaman untuk kompresor. Bila tekanan discharge terlalu tinggi akan dapat membahayan kompresor. Kompresor akan mengambil arus lebih besar di atas normal (*over current*), sehingga menimbulkan panas lebih yang membahayakan kumparan motor kompresor. Untuk itu biasanya pada sisi tekanan tinggi dipasang high pressure control.

Gambar 4.18 High Pressure Control

Jika tekanan kompresor atau tekanan discharge atau head pressure naik terlalu tinggi, maka diafragma akanmengambang. Gerakan diafragma ini akan menggerakkan mekanisme kontak sakelar sehingga kontak terbuka, dan motor akan berhenti (stop). Jadi pressure control tersebut berfungsi sebagai pengaman bagi motor kompresor.

Gambar 4.19 Rangkaian Kontrol Kompresor Tidak Langsung

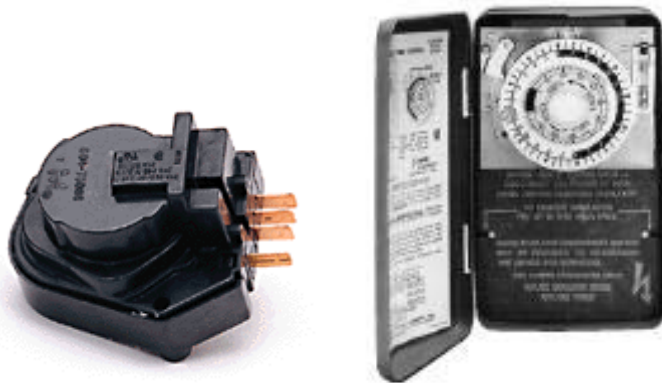
**Double Pressure switch**

Pressure control yang telah dibahas sebelumnya bekerja dengan fungsi tunggal, maka sering disebut sebagai single pressure control. Gambar 4.20 memperlihatkan tipikal pressure control atau pressure switch dengan fungsi ganda (double prossure control), memiliki low & high pressure switch. Ada 3 jenis tata susun kontaknya, yaitu SPST, SPDT, dan DPST.

Gambar 4.20 Double Pressure Control

### 3. Piranti Pengaman

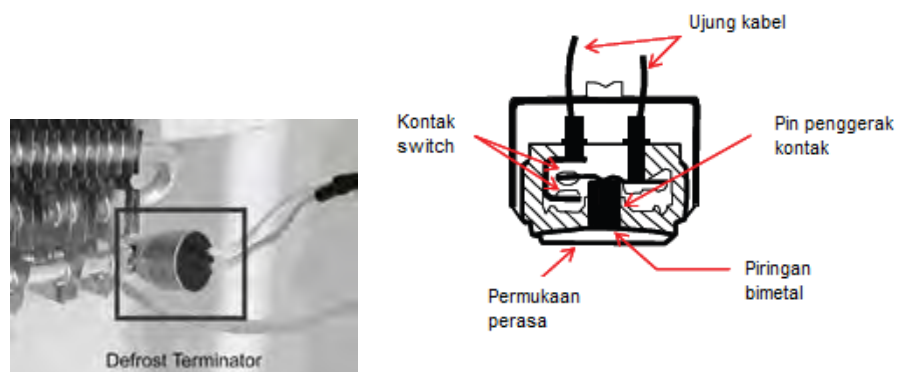
Seperti diketahui, salah satu jenis beban listrik pada mesin refrigerasi adalah deforst heater. Defrost heater adalah komponen listrik pada mesin refrigerasi untuk mengendalikan jumlah lapisan bunga es pada permukaan evaporator. Bila lapisan bunga es yang terakumulasi pada permukaan evaporator tidak dihilangkan maka akan mengganggu proses pendinginan. Oleh karena itu pada unit refrigrigerasi baik untuk keperluan domestic maupun komersial telah dilengkapi dengan system defrost otomatik, yakni dengan menggunakan defrost timer. Defrost timer merupakan salah satu piranti pengaman yang dipasang pada unit refrigerator. Gambar 4.21 memperlihatkan tipikal defrost timer, yang beroperasi secara elektromekanik.

.

Gambar 4.21 Tipikal Defrost Timer mekanik

Sistem pencairan bunga es (defrost) otomatik yang diterapkan pada unit refrigerator menggunakan timer untuk mengaktifkan siklus defrost. Pada sistem defrost otomatik, ditambahkan heater (elemen pemenas) dan thermostat pada koil evaporator. Defrost timer mengatur siklus pencairan bunga es di evaporator, lazimnya setiap 8 jam. Bila saat pencairan bunga es tiba, maka kompresor akan berhenti bekerja, dan defrost heater akan aktif. Defrost heater akan memanaskan evaporator sehingga bunga es mencair.

Gambar 4.22 Tipikal Defrost timer elektronik

Gambar 4.22 memperlihatkan tipikal defrost timer yang beroperasi secara mikroelektronik. Piranti kontrol elektronik dilengkapi dengan microprosesor yang dapat diprogram sesuai keperluan

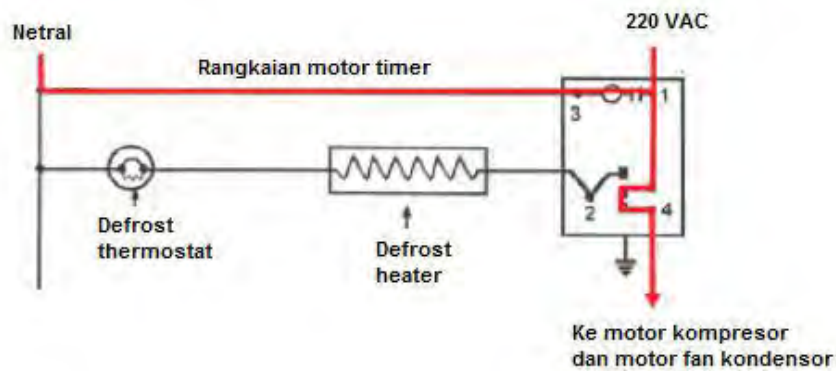
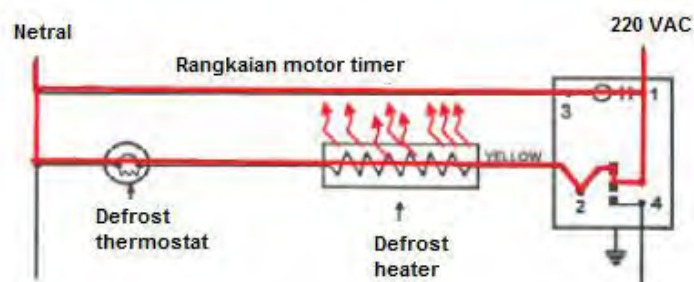
Defrost thermostat akan memonitor suhu evaporator, dan pada saat suhu evaporator mencapai suatu titik tertentu maka defrost heater menjadi tidak aktif. Defrost thermostat lazim disebut sebagai defrost termination thermostat atau defrost terminator atau defrost thermal switch. Target suhu evaporator biasanya 40 dan 60 $^{0}$F. Gambar 4.23 memperlihatkan lokasi penempatan defrost termination dan konstruksinya.

Gambar 4.23 Tipikal Defrost terminator

Air kondesat ditampung oleh sejenis baki yang diletakkan di bagian dasar evaporator di mana udara panas dari kompresor dan condenser mengalir melewatinya sehingga mempercepat proses penguapannya.

Beberapa system siklus pencairan bunga es dilaksanakan berbasis hitungan waktu. Besaran waktu dipilih berdasarkan interval antar defrost. Jika timer menghitung waktu yang telah dipilih telah tercapai, maka system defrost akan mulai bekerja, tanpa memperhitungkan kebutuhan pendinginan di dalam system. Konfigurasi ini lazim disebut sebagai *continuous run*. Tipe perhitungan waktu yang lebih efektif adalah sistem yang memperhitungkan jumlah waktu kompresor bekerja. Bila timer mendeteksi akumulasi waktu kerja kompresor sesuai dengan pengaturan waktu yang diinginkan maka system defrost akan bekerja. Sistem seperti ini lazim disebut sebagai *cumulative run-time defrost.*

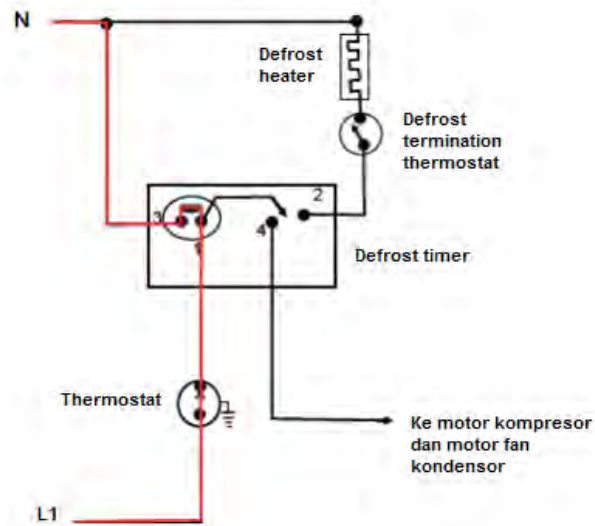
**Tipikal Rangkaian Defrost Sistem Continuous run**

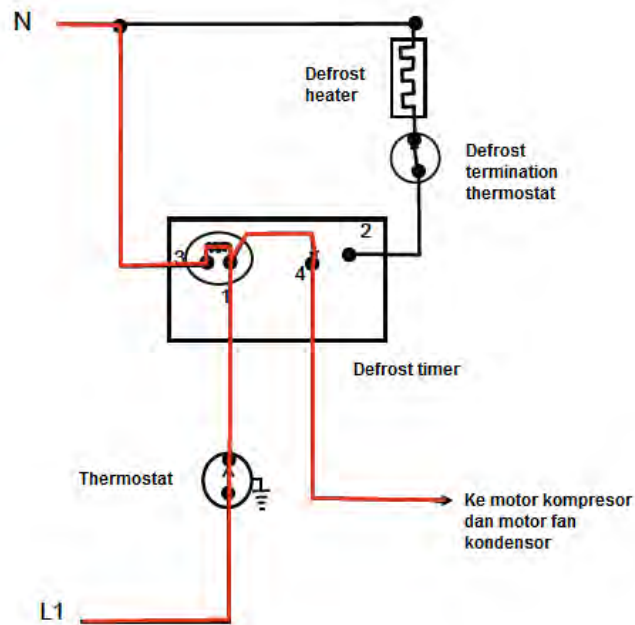
Gambar 4.24 memperlihatkan rangkaian defrost untuk konfigurasi *continuous run.* Pada konfigurasi ini, motor timer terhubung langsung ke jala-jala tegangan 220 VAC. Motor timer akan selalu aktif selama unit refrigeratornya terhubung ke jala-jala. Interval waktu defrost tergantung pada susunan roda gigi timer, biasanya siklus defrost akan berlangsung setiap 8, 10, atau 12 jam tanpa memperhitungkan kerja kompresor.

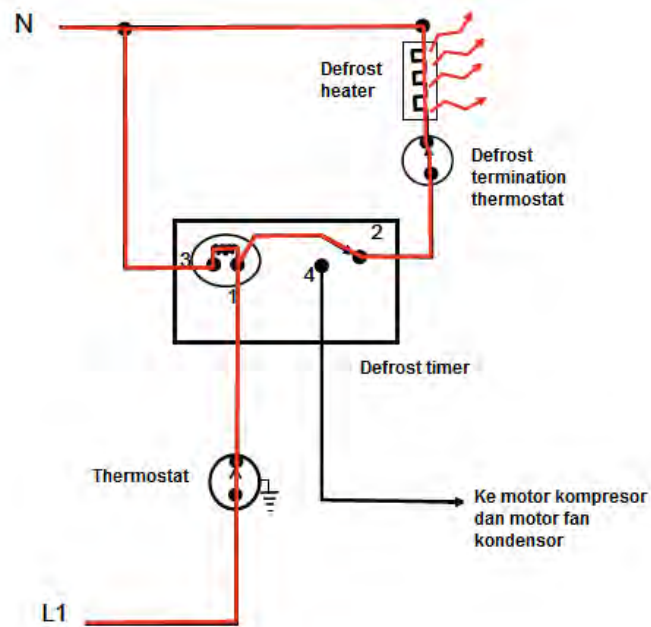
Pada saat unit refrigerator berada pada mode operasi normal, maka kontak 1 dan 4 tertutup, motor kompresor dan motor fan condenser mendapat catu daya listrik, sehingga bekerja. Setelah motor timer beroperasi beberapa jam sesuai dengan tata susun roda gigi timer, maka sistem defrost akan aktif. Pada kondisi ini kontak timer nomor 1 ke 4 terbuka dan kontak 1 ke 2 tertutup. Pada kondisi ini, motor kompresor & motor fan kondenser akan berhenti bekerja, dan defrost heater akan aktif.

(a)

**(b)**

Gambar 4.24 Rangkaian Konfigurasi Defrost *Continuos Run*

**Sistem Cumulative Run**

Sistem defrost yang menerapkan sistem *cumulative run timer*, maka motor timer dihubungkan seri dengan piranti pengontrol suhu (thermostat), sehingga hanya akan aktif jika kontak thermostat tertutup. Jika kontak thermostat tertutup, maka energi listrik ke motor akan disalurkan dari terminal L1, melalui kontak thermostat, menuju ke terinal 1 dari motor timer, terus ke terminal 3 dan kahirnya ke terminal netral. Gambar 4.25 memperlihatkan konfigurasi tersebut.

Gambar 4.25 Tipikal Rangkaian Defrost Cumulative Run

Ketika motor timer bekerja maka akan menggerakkan susunan roda gigi timer. Roda gigi timer dilengkapi dengan mekanisasi untuk merubah posisi kontak  timer. Pada operasi pendinginan normal, maka kontak 1 dan 4 dari timer akan tertutup, sehingga energy listrik akan disalurkan ke motor kompresor, dan motor fan kondensor, seperti diperlihatkan dalam Gambar 4.26.

Gambar 4.26 Tipikal Rangkaian Defrost Cumulative Run

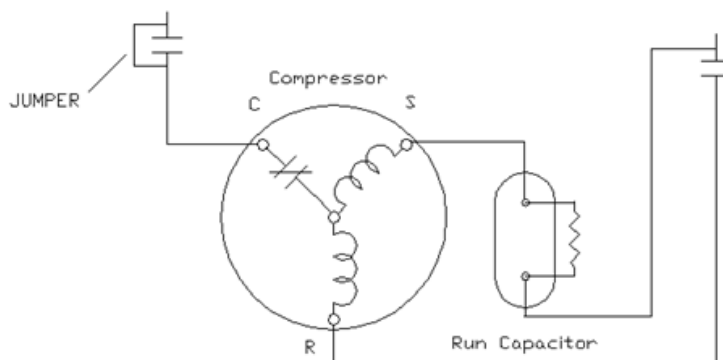
Setelah kompresor beroperasi selama 8 jam, maka kontak internal timer akan berpindah ke posisi defrost. Pada saat itu, kontak 1 dan 4 terputus dan kontak 1 dan 2 tertutup. Pada posisi ini elemen pemanas (heater)  mendapat energi listrik. Elemen pemanas tetap mendapat energy hingga kontak defrost termination thermostat terbuka atau posisi defrost timer berpindah lagi ke posisi operasi pendinginan normal, seperti diperlihatkan dalam Gambar 4.27

Gambar 4.27 Tipikal Rangkaian Defrost Cumulative Run

## E. Kegiatan Belajar 5

## Menganalisis Gangguan Kelistrikan Refrijerasi dan Tata Udara

Pada umumnya sistem refrijerasi dan tata udara untuk keperluan residensial dilengkapi dengan konrol kelistrikan yang minimum untu menjaga harga tetap terjangkau. Tipikal condensing unit dengan ekspansi pipa kaliper biasanya dilengkapi dengan kontaktor satu kutub dan run capacitor, mungkin juga dilengkapi dengan automatic reset head pressure control, dan juga automatic reset low-pressure control.

### 1. Gangguan Pada Rangkaian Kompresor

Banyak unit refrijerasi dan tata udara tidak dilengkapi dengan crankcase heater, tetapi menggunakan "off cycle" heat melalui pemanfaatan run capacitor untuk menyalurkan arusnya kumparan bantu(start winding)motor compressor selama off cycle. Hal ini membuat kumparan bantu (start winding) tetap hangat sehingga dapat menjaga suhu oli refrijeran tetap hangat. Kapasitas kapasitor yang digunakan harus ditentukan dengan hati-hati dan cermat agar arus yang mengalir ke kumparan bantu tidak mencukupi untuk menjalankan motor. Dalam contoh kasus ini, kalian dapat mengamati rangkaian kontrolnya dalam Gambar 5.1. Selama off-cycle (kompresor mati), salah satu kutb kontaktor dihubung singkat (jumper) sehingga ada arus pengosongan run capasitor ke start winding.

Gambar 5.1 Rangkaian Kompresor Refrijerasi

Kapasitor yang digunakan untuk menaikkan kemampuan start-up motor diklasifikasikan menjadi dua, yaitu strating capacitor dan running capacitor. Jika kapasitor yang digunakan pada motor kompresor sudah mengalami penurunan kapasitasnya lebih dari 15% maka biasanya akan membuat arus yang ditarik oleh motor naik, dan kalau ini dibiarkan dalam waktu lama akan menyebabkan motor terbakar.

Jika mengganti kapasitor, pastikan melakukannya dengan benar. Kapasitor pengganti harus memiliki kapasitas yang sama demikian juga kekuatan tegangannya. Jangan tertukar antara starting capacitor dengan running capacitor. Gambar 5.2 memperlihatkan berbagai tipikal kapasitor yang lazim dignakan pada motor kompresor.

Gambar 5.2 Tipikal Strating Capacitor dan Running Capacitor

Starting capacitor memiliki kapasitan tinggi antara 50 sampai 700 mfd, merupakan unit elektrolitik yang digunakan sesaat hanya untuk membantu start-up motor. Karena hanya bekerja sessat maka kapasitor starting ini hanya dikemas dengan bahan dari plastik. Gambar 5.3 memperlihatkan contoh strating capacitor.

Gambar 5.3 Tipikal Starting Capacitor (159-191 mfd)

Run kapasitor memiliki kapasitan yang lebih rendah dibandingkan strating capacitor. Rentang kapasitas running capacitor antara 2 hingga 40 mfd. Seperti namanya kapasitor run ini digunakan secara terus-menerus (continuuous duty) oleh karena itu kemasan fisiknya juga harus dari bahan yang kuat tahan panas. Biasanya running capacitor dikemas dengan bahan dari logam.

Strating capacitor digunakan pada motor capacitor start. Kapasitor ini terhubung seri dengan start winding dan start switch. Hal ini membuat beda fasa antara arus pada run winding dan starting winding menjadi besar sehingga dapat meningkatkan torsi starting motor. Karena starting capacitor hanya bekerja sesaat maka tidak boleh dioperasikan secara terus-menerus. Pabrikan menetapkan bahwa starting kapasitor hanya boleh dioperasikan duapuluh kali start setiap jam.

Running capacitor didisain untuk mampu bekerja secara terus-menerus. Running capacitor digunakan pada motor permanent split capacitor. Kapasitor ini terhubung seri dengan start winding secara permanen. Kapasitor ini ditentukan dengan ketat untuk membuat perbedaan fasa sebesar 90 derajat antara start winding dan run winding. Selama bekerja running capacitor akan menyimpan dan melepas energinya ke starting winding untuk meningkatkan besar beda fasa antara start dan run winding.

Beberapa running capacitor dilengkapi tanda khusus pada terminalnya, biasanya dengan tanda titik warna merah yang menandakan terminal tersebut harus dihubungkan dengan run terminal. Dengan susunan seperti itu jika terjadi hubung singkat internal ke kapasitor akan memutuskan fuse tetapi arus hubung singkat tidak melalui start winding. Gambar 5.4 memperlihatkan tipkal run capacitor yang diberi tanda khusus.

Gambar 5.4 Tipikal Running Capacitor

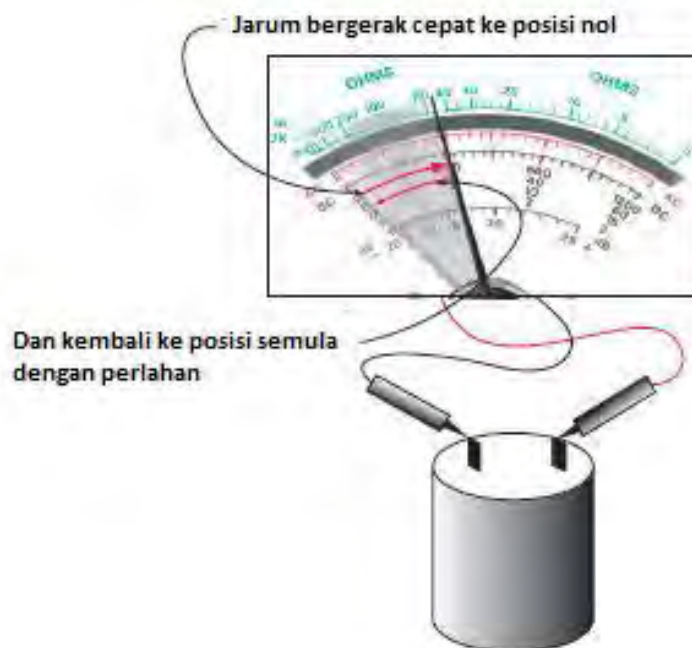
**Pemeriksaan Kapasitor**

Pekerjaan pertama yang harus dilakukan ketika akan memeriksa kualitas kapasitor adalah membuang muatan kapasitor. Jangan membuang muatan kapasitor dengan menghubung-singkat terminal kapasitor, sebab hal ini dapat merusak kapasitor.

Gambar 5.5 Bleed Resistor Pada Kapasitor

Untuk mencegah jangan sampai kalian terkena sengatan arus listrik yang disebabkan pelepasan muatan kapasitor, maka pastikan tangan kalian tidak menyentuh kedua terminal kapasitor sebelum muatan kapasitor telah dibuang.

Cara yang aman dan benar untuk membuang muatan kapasitor adalah dengan memasang resistor 20 kΩ/2W pada terminal kapasitor, seperti diperlihatkan dalam Gambar 5.5. Biasanya starting capacitor telah dilengkapi dengan bleed resistor yang terpasang pada terminal kapasitor.

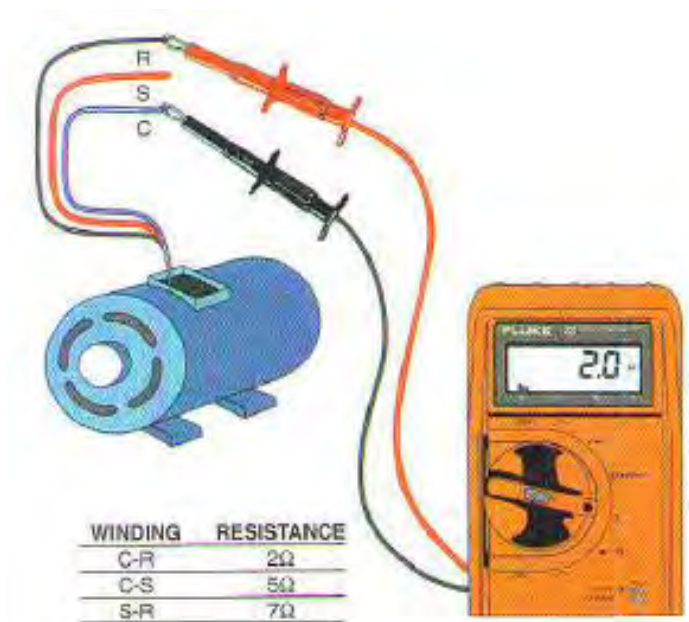
Kapasitas kapasitor dapat diperiksa secara kasar dengan menggunakan ohmmeter. Ohmmeter yang akan digunakan untuk memeriksa kapasitan kapasitor harus memiliki batas ukur pada skala Rx100. Untuk memeriksa kapasitor, lepas kapasitor dari instalasi pengawatannya (wiring), dan letakkan test lead omhmeter ke terminal kapasitor, seperti diperlihatkan dalam Gambar 5.6. Jika kapasitor tidak hubung sigkat, jarum meter akan bergerak dengan cepat menuju ke posisi nol (ohm) dan kembali ke posisi semula (tak terhingga) dengan perlahan.

Gambar 5.6 Cara Memeriksa Kapasitor dengan Ohmmeter

Jika di dalam kapasitor terjadi hubung singkat internal, maka jarum akan tetap bertahan pada posisi nol. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitor tidak dapat lagi menyimpan muatan. Oleh karena itu jika memeriksa kapasitor dengan ohmmeter, pastikan batere yang terpasang pada ohmmeter dalam kondisi prima. Jika di dalam kapasitor ada yang putus, maka jarum penunjuk tidak akan bergerak, seperti diperlihatkan dalam Gambar 5.7

Gambar 5.7 Kapasitor Putus Jarum Meter Tidak bergerak

Agar pekerjaan pemeriksaan kapasitor dapat berjalan dengan maksimal, direkomendasikan memeriksa kapasitor dengan menggunakan alat ukur khusus yang disebut capacitor analyser atau capacitor tester. Instrumen ini mamou mengukur nilai kapasitan dengan lebih akurat dan dapat mendeteksi adanya kerusakan dielektrik pada saat berbeban. Instrumen ini dapat mendeteksi kapasitor yang tidak dapat menjaga ratingnya, dan juga berguna untuk mengukur rating kapasitor yang sudah tidak memiliki tanda. Beberapa multimeter ada yang dilengkapi dengan capacitor analyser.

Gambar 5.8 Capacitor Analyser

Jika kapasitan kapasitor sudah dipastikan dalam kondisi bagus, maka pemeriksaan bisa dilanjutkan ke pemeriksaan kumparan motor kompresor hermetik. Kondisi belitan motor kompresor hermetik dapat dilakukan dengan mudah tanpa membuka kompresor jermetik. Untuk memeriksa kondisi belitan motor diperlukan ohmmetr. Instrumen ini disamping mampu mengukur rsistan listrik juga sering digunakan untuk mengukur kontinuitas suatu rangkaian listrik. Untuk mengukur kondisi belitan motor kompresor hermetik, maka sambungan kabel ke terminal harus dilepas. Kemudian motor diperiksa secara terpisah dari rangkaian kontrolnya. Gambar 5.9 memperlihatkan cara memeriksa kondisi belitan motor kompresor hermetik.

Gambar 5.9 Cara Meneriksa Belitan Motor Kompresor Hermetik

Beberapa personil melakukan pemeriksaan belitan motor dengan menggunakan test light. Tetapi mengukur resistansi belitan motor dengan ohmmeter merupakan cara terbaik untuk mengetahui kondisi belitan motor. Dari pengalaman praktek, diketahuinilai resistansi belitan motor berada pada nilai tertentu seperti diperlihatkan dalam Gambar 5.10.

| | Ohmmeter Readings | |
|---|---|---|
| Running HP | Running Winding | Starting Winding |
| 1/8 | 4.7 | 18 |
| 1/6 | 2.7 | 17 |
| 1/5 | 2.3 | 14 |
| 1/4 | 1.7 | 17 |

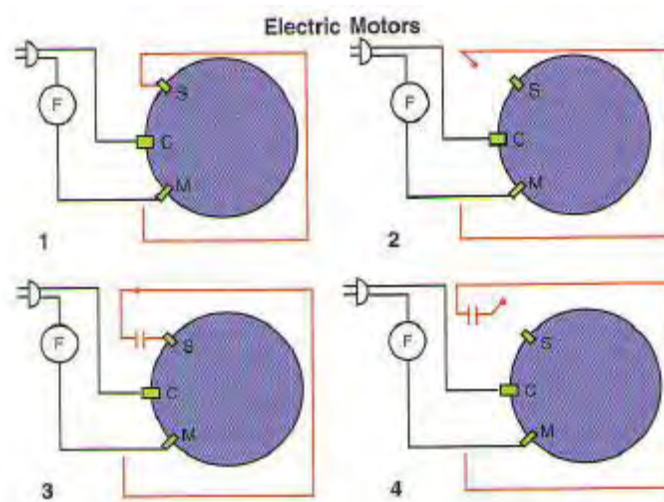
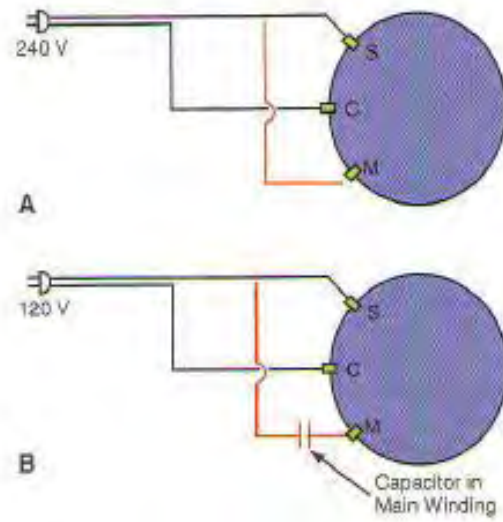
Gambar 5.10 Nilai Resistan Belitan Motor Hermetik

**Mengatasi Kompresor Hermetik Macet (Stuck)**

Seringkali dijumpai dalam kehidupan sehari-hari, unit refrijerator/freezer dan unit tata udara tidak dapat dijalankan (macet atau stuck) walaupun hasil pemeriksaan kelistrikan unit dalam kondisi bagus, artinya tidak ada rngakain yang terputus atau

hubung singkat. Kondisi ini dapat terjadi karena beberapa hal. Kemungkinan unitnya tidak dioerasikan dalam waktu yang lama. Kemungkinan ada debu dan kotoran lain masuk ke dalam unit. Atau dengan kata lain, pada bagian bergerak kompresor berkarat atau telah terjadi electrolitic plating. Atau kemungkinan lainnya adalah masuknya likuid refrijeran ke kompresor dalam jumlah yang berlebihan sehingga mengikat gerakan kompresor.

Ada tiga cara yang direkomendasikan untuk mengatasi masalah tersebut, yaitu:

- Hubungkan belitan motor ke jala secara langsung tanpa melalui rele starting seperti diperlihatkan dalam Gambar 5.11.
- Gunakan tegangan jala-jala yang lebih tinggi dari tegangan nominal motor kompresor, misalnya tegangan 360V untuk motor 220V. Tetapi hal ini harus dilakukan dalam waktu sangat singkat hanya sekedar melepas kemacetannya. (Gambar 5.12A)
- Buatlah unit agar dapat berputar berlawanan arah dengan arah normal dengan memasang capacitor secara seri dengan run (main) winding, sepertidiperlihatkan dalam Gambar 5.12B.

Gambar 5.11 Beberapa Cara mengatasi Kompresor Macet

Gambar 5.12 Cara Lain Mengatasi Kompresor Macet

## 2. Gangguan Pada Pressure Control

Kebanyakan kasus kehilangan refrijeran pada suatu unit refrijerasi dan tata udara tidak berlangsung secara mendadak. Biasanya terjadi kebocoran kecil pada sambungan pemipaannya. Karena refrijeran berkurang secara sangat lamban, maka kompresor pada akhirnya akan menarik tekanan suction di bawah setting low-pressure control, maka kontaknya akan terbuka. Jika kompresor berhenti (shuts off), maka tekanan suction akan langsung naik. Jika tipe low-pressure control yang digunakan dilengkapi dengan automatic reset, maka low-pressure control akan menutup(close) dan langsung me-restart kompresor. Sekali lagi, tekanan suction akan kembali turun di bawah nilai setting low pressure control, dan siklus kompresor berhenti bekerja (off-cycle)kembali terulang. Hal ini akan berlangsung terus hingga ada yang memanggil personil pemeliharaan untuk memperbaikinya. Jika hal ini dibiarkan, maka kompresor akan mengalami overheat karena terjadi short cycling, dan dalam keadaan yang paling jelek kompresor akan terbakar.

Gambar 5.13 Pressure Control dengan Manual Reset

Untuk mencegah hal tersebut, maka sebaiknya tipe low-pressure control yang dilengkapi dengan automatic diganti dengan tipe manual reset. Hal ini juga berlaku untuk high-pressure control. High-pressure cutout juga harus dari tipe manual reset. Beberapa teknisi seringkali mengganti tipe manual reset dengan automatic reset, dengan alasan kekhawatiran ada seseorang yang tidak bertanggung jawab menekan manual reset sehingga unitnya tidak bekerja. Tetapi perlu diingat, bahwa pressure control ini digunakan sebagai alat pengaman. Piranti kontrol tersebut hanya akan bekerja jika terjadi gangguan atau adanya kondisi yang tidak normal pada unitnya. Untuk menekan tombol reset kembali tidak boleh dilakukan sembarangan, pastikan dahulu apa penyebab sehingga pressure control tersebut trip atau terbuka. Setelah diketahui penyebabnya, barulah tombol reset boleh ditekan.

Pada unit tata udara untuk keperluan residensial, biasanya dilengkapi dengan pressure switch. Pressure switch tersebut kadangkala langsung dipasang pada sistem pemipaannya, kadang-kadang dipasang melalui pipa kapilerseperti diperlihatkan dalam Gambar 5.14. Sedang Gambar 5.15 memperlihatkan high-pressure switch yang berfungsi sebagai pengaman unit untuk mencegah terjadinya tekanan tinggi yang berlebihan sehingga membahayakan kompresor.

Gambar 5.14 Low-pressure Switch pada Unit Tata Udara Domestik

Gambar 5.15 High-pressure Switch pada Unit Tata Udara Domestik

Time delay harus dipasang pada unit tata udara untuk mencegah terjadinya short-cycling. Piranti kontrol ini aka nmencegah terjadinya short-cycling pada gangguan kehilangan refrijeran pada unitnya. Sehingga akibat fatal kompresor terbakar dapat dicegah. Ada dua jenis time delay, yakni (1) "delay on make" atau(2) "delay on break." Keduanya biasanya di-set untuk penundaan selama lima menit. Keuntungan sistem "delay on break" adalah waktu tunda untuk kompresor dapat melakukan start-up setelah berhenti (shuts off).

### 3. Pelacakan Gangguan

Untuk alasan keamanan, regulasi keselamatan kerja mengatakan kepada kita semua, bahwa lebih baik catu daya listrik diputuskan terlebih dahulu sebelum memulai bekerja, bahkan perlu memasang tag out dan melakukan lock out. Tetapi untuk beberapa pekerjaan, misalnya pekerjaan pelacakan gangguan, hal itu tidak berlaku,

karena semua sudah mengakuinya, bahwa pekerjaan pelacakan gangguan memerlukan peralatan yang sedang diperbaiki tetap mendapat energi listrik.

Oleh karena itu, jika pekerjaan pelacakan gangguan dan pengujian hanya dapat berhasil jika masih bertegangan, maka personil yang melakukan pekerjaan pelacakan gangguan harus:

- Mendapat pelatihan khusus agar ia memahami peralatan tersebut dan potensi bahaya jika bekerja pada peralatan yang mesih bertegangan, sehingga menjadi kompeten untuk menangani aktivitas tersebut.
- Hanya menggunakan peralatan uji yang memenuhi standar
- Membangun penghalang dan memperhatikan peringatan sehingga aktifitas kerja tidak menciptakan situasi yang membahayakan bagi orang lain.

Seperti telah kalian ketahui, Sistem Kompresi Gas merupakan mesin refrigerasi yang berisi fluida penukar kalor (refrigeran) yang bersirkulasi terus menerus. Selama bersirkulasi di dalam unitnya maka refrigeran tersebut akan selalu mengalami perubahan wujud dari gas ke liquid dan kembali ke gas. Proses tersebut berlangsung pada suhu dan tekanan yang berbeda, yaitu tekanan tinggi dan pada tekanan rendah. Tekanan tinggi diperoleh karena adanya efek kompresi, yang dikerjakan oleh kompresor. Oleh karena itu sistem refrijerasi ini lazim disebut sebagai sistem kompresi gas.

Gambar 5.16 memperlihatkan diagram alir suatu sistem kompresi gas sederhana. Sesuai dengan proses yang terjadi di dalam siklus refrigeran maka sistem refrigerasi kompresi gas mempunyai 4 komponen utama yang saling berinteraksi satu sama lain, yaitu: (1) Evaporator, (2) Kompresor, (3) kondensor, dan (4) Katub ekapansi. Refrigeran yang berada di dalam unit refrigerasi kompresi gas, akan mengalami perubahan suhu dan tekanan sesuai tempat di mana ia berada. Proses refrigeran tersebut akan berulang setiap waktu selama kompresor bekerja. Proses tersebut terdiri dari: (1) proses evaporasi, (2) proses kompresi, (3) proses kondensasi, dan (4) proses ekspansi.

**Evaporator dan Proses Evaporasi**

Liquid refrigeran yang dialirkan ke evaporator mempunyai suhu titik uap yang sangat rendah pada tekanan atmosfir, sehingga memungkinkan menyerap panas pada suhu yang sangat rendah. Koil evaporator menampung liquid refrigeran yang kemudian menguap walaupun suhu udara sekitarnya sangat rendah. Proses penguapan refrigeran di evaporator ini akan menyerap energi panas dari substansi dan udara yang ada di sekitarnya sehingga menimbulkan efek pendinginan. Selanjutnya gas refrigeran ini dihisap oleh kompresor.

**Kompresor dan Proses Kompresi**

Sistem refrigerasi kompresi gas merupakan siklus tertutup, maka kondisi keseimbangan akan selalu tercipta setiap saat. Refrigeran yang menguap di evaporator yang bersuhu rendah tidak dibuang tetapi langsung dihisap lagi oleh kompresor dan selanjutnya dikompresi hingga suhu dan tekanannya dinaikkan pada titik tertentu sesuai jenis refrigerannya. Bila kompresor menghisap lebih cepat daripada persedian gas yang tersedia di dalam evaporator maka tekanan pada sisi hisap akan turun. Sebaliknya bila beban panas evaporator naik dan penguapan liquid refrigeran berlangsung secara lebih cepat maka tekanan sisi hisap akan naik.

Untuk keperluan praktis, berikut ini diberikan patokan harga untuk menentukan tekanan kerja kompresor pada sisi tekanan tingginya.

Pedoman yang dapat digunakan untuk keperluan praktis adalah :

Untuk R12 : 120 - 180 psi

Untuk R22 : 160 - 260 psi

Untuk R134a : 100 - 165 psi

Untuk R600a : 120 - 180 psi

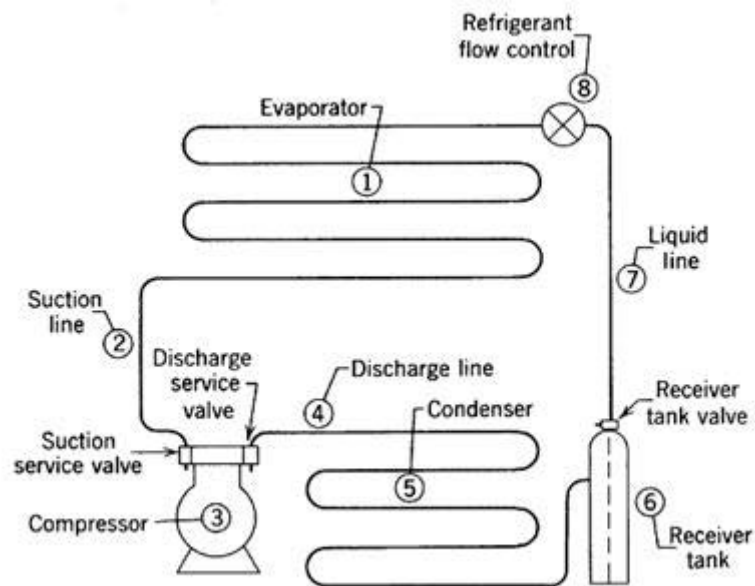
**Kondensor dan Proses Kondensasi**

Gas refrigeran yang keluar dari sisi tekan kompresor disalurkan ke kondenser. Gas tersebut mempunyai suhu dan tekanan tinggi dalam kondisi superheat. Selanjutnya saat berada di kondenser gas panas lanjut tersebut mengalami penurunan suhu akibat adanya perbedaan suhu antara gas dan medium lain yang ada disekitarnya, yang

dapat berupa udara atau air. Penurunan suhu gas refrigeran tersebut diatur sampai mencapai titik embunnya. Akibatnya refrigerannya akan merubah bentuk dari gas menjadi liquid yang masih bertekanan tinggi. Agar terjadi proses kondensasi yang optimal, lazimnya perbedaan suhu refrigerant (suhu awal dan suhu akhir) tersebut adalah antara 9 sampai 14K tergantung suhu udara sekitarnya. Misalkan, jika suhu lingkungan sekitar adalah $30^{O}$C, maka suhu awal refrigerant ketika masuk ke kondensor berkisar $39^{O}$C hingga $44^{O}$C.

**Katub Ekspansi dan Proses Ekspansi**

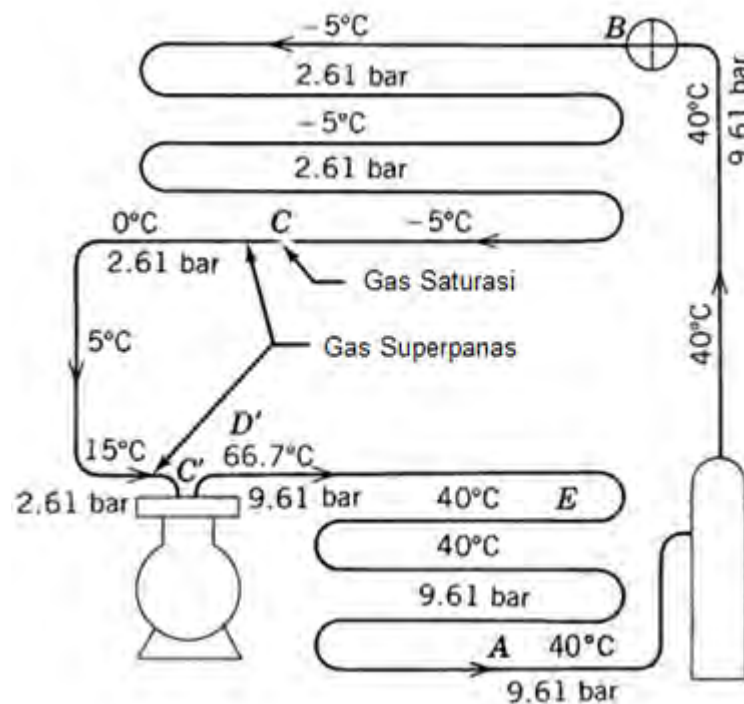
Liquid refrigran bertekanan tinggi dari kondenser disalurkan ke katub ekspansi. Dalam keadaan yang sederhana katub ini berupa pipa kapiler dan untuk pemakaian unit yang berskala besar biasanya digunakan katub ekspansi thermostatik. Karena adanya perubahan diameter yang cukup besar maka laju refrigeran yang mengalir melalui katub ekspansi ini akan mengalami penurunan tekanan yang cukup tajam. Akibatnya akan terjadi ekspansi panas. Hasil ekspansi panas ini berupa penurunan suhu liquid refrigeran yang keluar dari katub ekspansi. Selanjutnya liquid refrigeran yang bersuhu dan bertekanan rendah tersebut disalurkan ke evaporator untuk menghasilkan efek pendinginan.

Evaporator adalah untuk proses evaporasi liquid refrigeran. Kompresor untuk meningkatkan tekanan gas refrigeran. Kondenser untuk proses kondensasi gas refrigeran. Katub ekspansi untuk menurunkan tekanan liquid refrigeran yang akan di masuk ke evaporator. Adanya gangguan pada salah satu komponen dapat menggagalkan efek refrigerasi atau efek pendinginan.

Gambar 5.16 Diagram Alir sistem Kompresi Gas

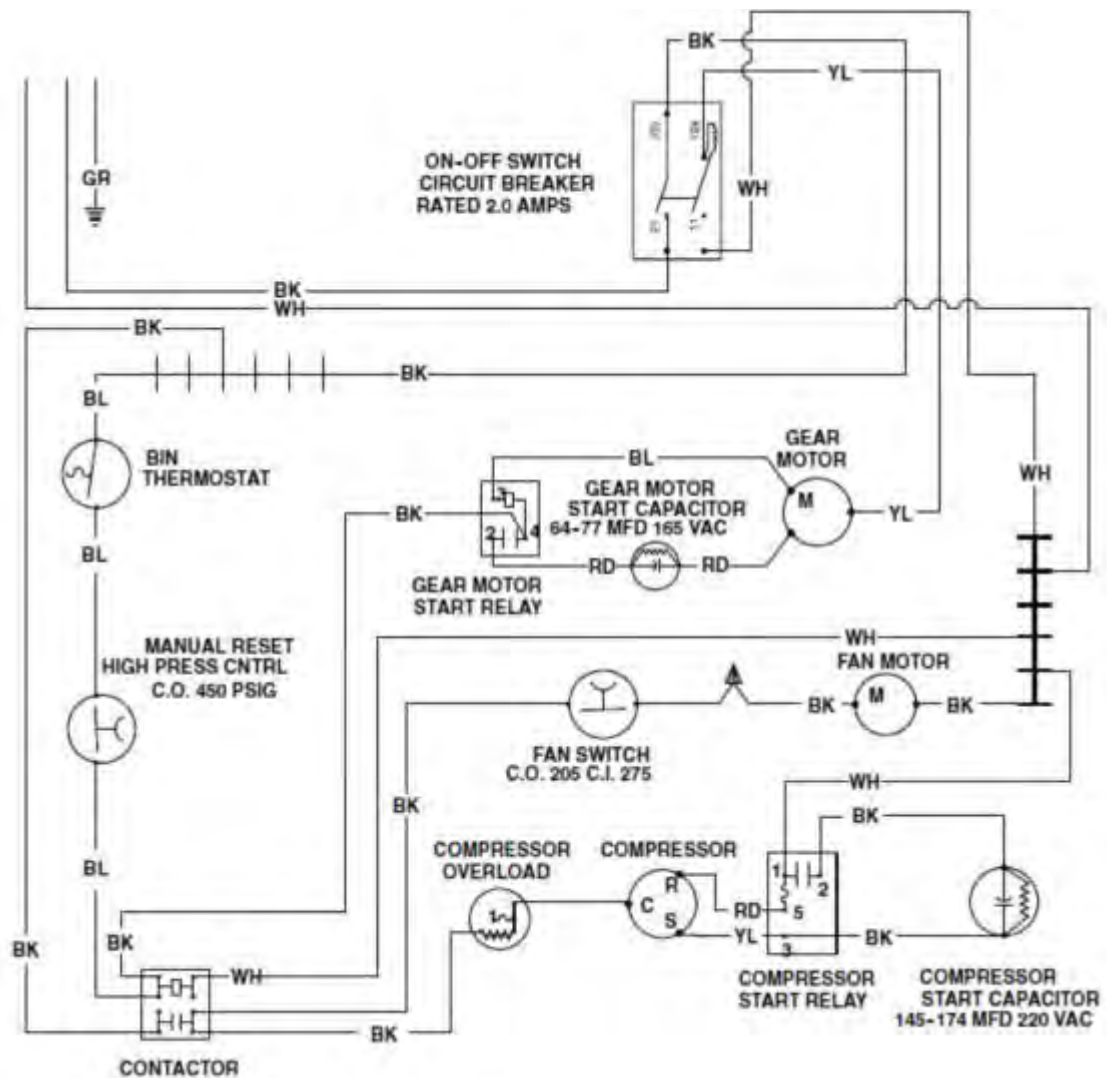
Evaporator (1), menyediakan transfer panas melalui luas permukaannya, sehingga panas yang terkandung di udara dan produk makanan yang ada di dalam ruang dapat diserap oleh penguapan refrijeran cair yang mengalir di dalam koil evaporator. Suction line (2) adalah saluran yang terletak pada sisi tekanan rendah kompresor, untuk menyalurkan refrijeran gas bertekanan rendah dari evaporator menuju ke katub hisap kompresor. Compressor (3) merupakan jantung sistem refrijerasi kompresi gas, berfungsi menghisap refrijeran gas dari evaporator dan menaikkan suhu dsn tekanan refrijeran ke suatu titik di mana refrijeran gas akan mengembun dengan mudah pada kondisi normal media kondensasinya. Discharge line (4) adalah saluran yang terletak pada sisi tekanan tinggi kompresor, untuk menyalurkan refrijeran gas bertekanan dan bersuhu tinggi dari katub tekan kompresor menuju ke kondeser. Condensor (5) menyediakan transfer panas melalui luas permukaannya, sehingga energi panas yang yang terkandung dalam refrijeran dapat dipindahkan ke media kondensasi. Receiver Tank (6), sebagai tempat penyimpanan atau pengumpulan refrijeran cair yang sudah mengembun di kondensor, sehingga catu refrijeran cair ke evaporator dapat dijaga konstan sesuai keperluan. Liquid line (7) adalah saluran yang terletak pada sisi masuk katub ekspansi, untuk menyalurkan refrijeran cair dari receiver tank ke refrigerant control. Refrigerant control (8) berfungsi untuk mengatur jumlah

refrijerant cair yang akan diuapkan di evaporator dan untuk menurunkan tekanan refrijeran cair yang masuk ke evaporator, sehingga refrijeran cair dapat diuapkan pada suhu rendah sesuai yang diinginkan.

Pemahaman tentang siklus refrigerant di dalam system kompresi gas akan sangat membantu keberhasilan pekerjaan pelacakan gangguan pada system kelistrikannya. Gangguan pada system mekanik dan system kelistrikan pada hakekatnya tidak dapat dipisahkan, karena keduanya memiliki kontribusi terhadap efek pendinginan. Oleh karena itu seorang teknisi yang sedang melakukan pekerjaan pelacakan gangguan harus memperhatikan kedua system tersebut.

Ketika melakukan pekerjaan pelacakan gangguan system kelistrikan, yang perlu diutamakan adalah bekerja dengan hati-hati. Walaupun ketika sedang melakukan pekerjaan pelacakan gangguan memerlukan adanya tegangan pada peralatan yang sedang diperiksa agar dapat menemukan lokasi gangguan, tetapi ketika melakukan pekerjaan perbaikan tidak boleh bertegangan. Tabel 5.1 memperlihatkan daftar gejala gangguan dan solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi gangguan yang mungkin terjadi. Gambar 5.17 memperlihatkan tipikal proses system kompresi gas yang menggunakan refrigerant R134a. Perhatikan kondisi refrigerant pada setiap proses. Pemahaman proses pada setiap bagian, sangat membantu pekerjaan pelacakan gangguan.

Gambar 5.17 Tipikal Proses Aktual Sistem Kompresi Gas

Terlihat pada Gambar 5.17, suhu refrigeran cair yang masuk ke katub ekspansi B adalah $40^{O}$C, dengan tekanan 9,61 bar, karena proses ekspansi, maka refrigeran begitu keluar dari katub ekspansi langsung turun menjadi $-5^{O}$C, begitu juga tekanannya turun menjadi 2,61 bar. Di Evaporator refrigerant cair dengan suhu sangat dingin ($-5^{O}$C) akan mengalami proses evaporasi, sehingga suhu gas refrigerant begitu keluar dari evaporator naik menjadi $0^{O}$C. Selanjutnya suhu gas refrigerant yang masuk ke sisi hisap kompresor naik menjadi $15^{O}$C, dengan tekanan 2,61 bar. Di kompresor gas refrigerant akan mengalami kompresi, sehingga suhu dan tekanan gas refrigerant naik menjadi $66{,}7^{O}$C, dengan tekanan 9,61 bar. Di kondensor, gas refrigerant superpanas akan menjalani proses kondensasi, karena proses pendinginan sehingga suhunya turun menjadi $40^{O}$C, pada tekanannya tetap pada harga 9,61 bar. Begitulah, proses tersebut akan berlangsung secara terus menerus.

Gambar 5.18 memperlihatkan system control peralatan refrigerasi komersial. Perhatikan diagramnya dan cobalah memahami logikanya. Pemahaman logika control, sangat membantu pekerjaan pelacakan gangguan.

Gambar 5.18 Diagram Ladder system control Refrigerasi komersial

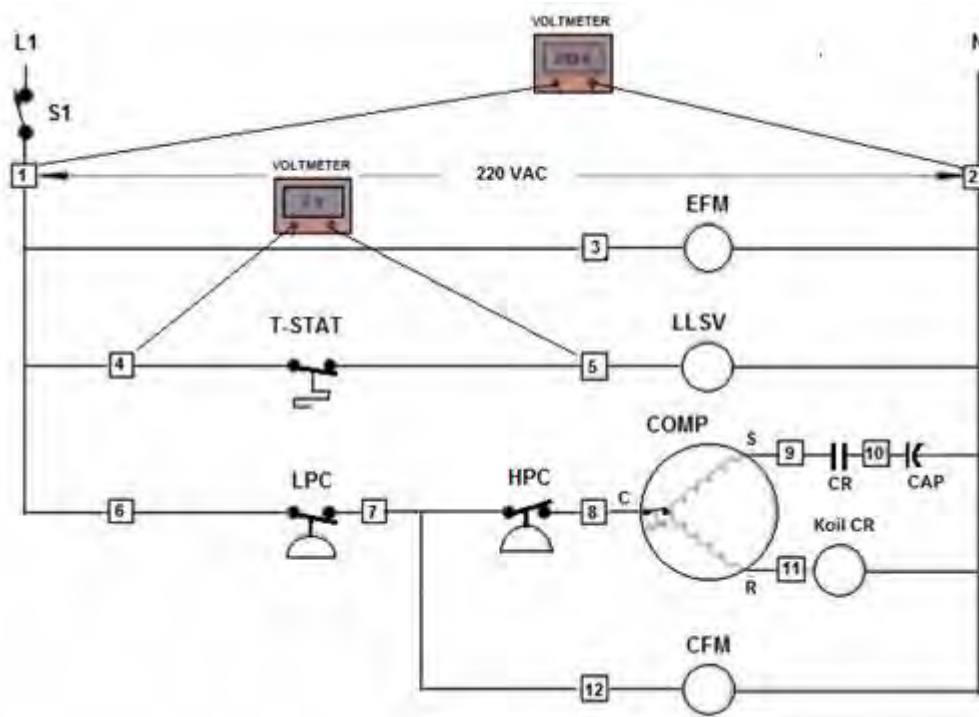
**Teknik Pemeriksaan dan Pengujian**

Pengujian instalasi menyiratkan adanya penggunaan instrument atau alat ukur untuk mendapatkan data pengukuran. Tetapi, pengujian ini tidak termasuk pekerjaan mengidentifikasi kerusakan pada socket outlet, kerusakan pada switch plate, hilangnya tutup kotak sambung, sehingga diperlukan juga pekerjaan pemeriksaan instalasi secara visual.

Metoda yang digunakan untuk menguji suatu instalasi listrik adalah membiarkan peralatan atau instalasi listrik yang akan diuji tetap terhubung ke sumber tegangan. Tetapi tegangan dan arus listrik ini tidak boleh membahayakan peralata dan pekerja

yang melakukan kontak langsung dengan peralatan tersebut, apalagi jika rangkaian listrik yang sedang diperiksa mengalami gangguan. Hasil pemeriksaan harus dibandingkan dengan data yang relevan, baik dari peraturan umum instalasi listrik yang berlaku maupun dari standar industri pembuat peralatan tersebut. Prosedur pemeriksaan dan pengujian harus dilakukan dengan seksama dan penuh kehati-hatian dengan mengikuti sekuen yang benar.

Gambar 5.19 memperlihatkan cara melokalisir gangguan yang terjadi pada suatu rangkaian kontrol pada kompresor hermetic ketika rangkaian kontrol tersebut masih bertegangan. Pekerjaan pengujian ini dilaksanakan setelah melakukan pengujian tahanan isolasi. Lakukan pengukuran tegangan dengan menggunakan voltmeter pada setiap piranti dan komponen yang ada di dalam system control.

Pastikan tegangan peralatan refrigerasi atau unit tata udara menerima tegangan penuh, yaitu 220 VAC. Pada saat sakelar S1 pada posisi (ON), maka tegangan yang terukur oleh voltmeter pada terminal 1 dan terminal 2 harus 220 VAC, Bila tegangan masuk kurang dari 85% tegangan penuh, maka sebaiknya unit refrigerasi atau tata udara tidak dioperasikan karena dapat membahayakan motor penggeraknya. Angka 1 sampai 12 menunjukkan titik pengukuran yang harus dilakukan.

Gambar 5.19 Memeriksa Gannguan dengan Voltmeter

Tabel 5.1Penyebab Gangguan dan Solusinya

| Jenis Unit | Gejala | Penyebab | Solusi |
|---|---|---|---|
| Open-type compressor | Motor listrik tidak dapat bekerja | Tidak ada tegangan masuk ke unit | Periksa sumber tegangan |
| | | Compressor stuck | Lokalisir penyebab dan perbaiki |
| | | Sabuk puli terlalu ketat | Atur kembali sabuk puli |
| | | Overload terbuka | Tentukan penyebabnya, dan reset overload |
| | | Setting Thermostat terlalu tinggi | Turunkan setting thermostat |
| | | Tegangan terlalu rendah | Periksa tegangan dengan voltmeter |
| | | Motor terbakar | Ganti motor |
| | Unit bekerja On - Off | Catu daya terputus-putus | Periksa kekokohan sambungan-sambungan kabel |
| | | High-pressure cutout rusak | Ganti high-pressure cutout |
| | | Setting High-pressure cutout terlalu rendah. Overload terbuka setelah di-reset | Naikkan setting cutout pressure. Periksa arus dengan tang amper |
| | | liquid-line solenoid valve bocor | Perbaiki atau ganti baru |
| | | Akumulasi bunga es di eavporator | Bersihkan evaporator dan periksa filter dan motor fan |
| | | Overcharge atau ada udara | Kurangi refrigerant atau |

| | | Di dalam sistem | buang udara (purge) |
|---|---|---|---|
| | | Kurang isi refrigerant | Perbaiki kebocoran atau tambah refrigeran |
| | | liquid-line strainer buntu | bersihkan strainer atau ganti baru |
| | | Motor rusak | Ganti motor |
| | Bunga es pada evaporator | Filter kotor | bersihkan filter |
| | | Udara masuk ke coil kurang | Bersihkan filter udara |
| | | expansion valve rusak | Ganti expansion valve |
| | Unit bekerja tetapi tidak dingin | Kurang isi | Tambah isi |
| | | Suction valve bocor | Bonkar kompresor dan bersihkan katub suction |
| | | Setting Expansion valve tidak tepat | Atur kembali expansion valve |
| | | Strainer buntu | Bersihkan atau ganti |
| | | Ada moisture di dalam sistem | Buang moisture danganti filter |
| | Henbusan udara dari grill evaporator kurang kencang | Evaporator kotor dan tertutup bunga es | Bersihkan bunga es di evaporator |
| | | Motor blower rusak | Ganti motor blower |
| | Tekanan Discharge terlalu tinggi | Condenser kotor | Bersihkan kondenser |
| | | Ada udara di dalam system | Buang udara (purge) |
| | | Overcharge | Buang atau kurangi refrigeran |
| | Tekanan Discharge terlalu rendah | Kurang isi | Cari kebocoran dan tambah refrigeran |
| | | Katub discharge compressor rusak | Ganti katub discharge kompresor |
| | Tekanan Suction terlalu tinggi | Settingan katub ekspansi tidak tepat | Atur kembali setting superheat katub ekspansi |
| | | Katub ekspansi macet | Perbaiki atau ganti katub ekspansi |
| | | Katub suction compressor kotor | Bersihkan atau ganti katub suction kompresor |
| | Tekanan Suction terlalu rendah | Kurang isi | Cari kebocoran atau tambah isi |
| | | Filter strainer kotor | Bersihkan filter strainer |
| | | Katub ekspansi bocor | Ganti katub ekspansi |
| | | Katub ekspansi buntu | Bersihkan katuib ekspansi |
| | | Kontak thermostat macet pada posisi tertutup | Ganti thermostat |
| | Kompresor bekerja tetapi | Kontak Thermostatic switch rusak atau aus | Ganti thermostat |

|  | tidak dingin |  |  |
|---|---|---|---|
|  |  | Thermostatic switch bulb tidak terpasang dengan kuat | Kencangkan ikatan bulb |
|  |  | Setting Thermostatic switch tidak tepat | Atur kembali thermostatic switch |
|  | Kompresor bekerja tetapi kurang dingin | Condenser kotor | Bersihkan condenser |
|  |  | Fan condenser rusak | Ganti motor fan |
|  |  | Suhu Ambient terlalu tinggi | Tambah ventilasi atau tambah fan |
|  |  | Beban terlalu tinggi | Atur beban pendingin |

| Jenis Unit | Gejala | Penyebab | Solusi |
|---|---|---|---|
| motor-kompressor Hermetic | Kerja compressor pendek dan kurang dingin | Condenser kotor | bersihkan condenser |
|  |  | Suhu Ambient terlalu tinggi | Tambah fan |
|  |  | Thermostatic switch rusak | Ganti thermostatic switch |
|  |  | Relay starting rusak | ganti relay starting |
|  | Kerja Compressor sering mati-hidup | Fan condenser rusak | Ganti fan konsenser |
|  | Compressor tidak bekerja | Motor rusak, rele starting rusak, kapasitor rusak, thermostat rusak | Periksa belitan motor, rele starting dan kapasitor, serta thermostat |
|  | Kompresor tidak bekerja | Ada oli di atas piston | Tunggu 6 sampai 8 jam, kompresor di hidupkan berulang kali |
|  |  | Compressor macet | Ganti kompresor |
|  |  | Sambungan pada belitan motor putus | Gati motor kompresor |
|  | Suhu kompresor terlalu tinggi | Condenser kotor | bersihkan condenser |
|  |  | Tegangan ke motor kurang | Ukur tegangan ke motor. Tegangn motor tidak boleh kurang dari 85% |
|  |  | Oli kompresor kurang | Tambah oli |

## DAFTAR PUSTAKA

Montgomery, Ross & Dowall, Robert Mc., 2008, Fundamental of HVAC Control System, Printed in the United States of America.

CP Arora, 2001, Refrigeration & Air Conditioning, Second Edition, Mc Graw Hill Book Co - SIngapore

Goliber, Paul F., 1986 Refrigeration servicing, Bombay, D.B. Taraporevala Son & Co, Private Ltd.

Harris, A, 1986, Air Conditioning Practice, 2nd edition, Prentice Hall

Roy J Dossat, 1978, Principle of Refrigeration second edition, John Wiley Sons, USA

Trane reciprocating Refrigeration Manual

Basic Servising, 1986, Box Hill College, Melbourne, Australia

http://www.pearsonhighered.com/assets/hip/us/hip_us_pearsonhighered/samplechapter/0132859610.pdf